トンネルと地下　平成25年9月1日発行第44巻第9号
出版元　株式会社土木工学社　東京都新宿区岩戸町16番地メイジャー神楽坂

信頼の品質

技術提案に好適!!
デンカの特殊混和材

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

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

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

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

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

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

定価 1,575円
本体価格1,500円
雑誌06619-9
4910066190934
01500

平成25年9月1日発行(毎月1回1日発行)　第44巻第9号　通巻517号　ISSN 0285-631X

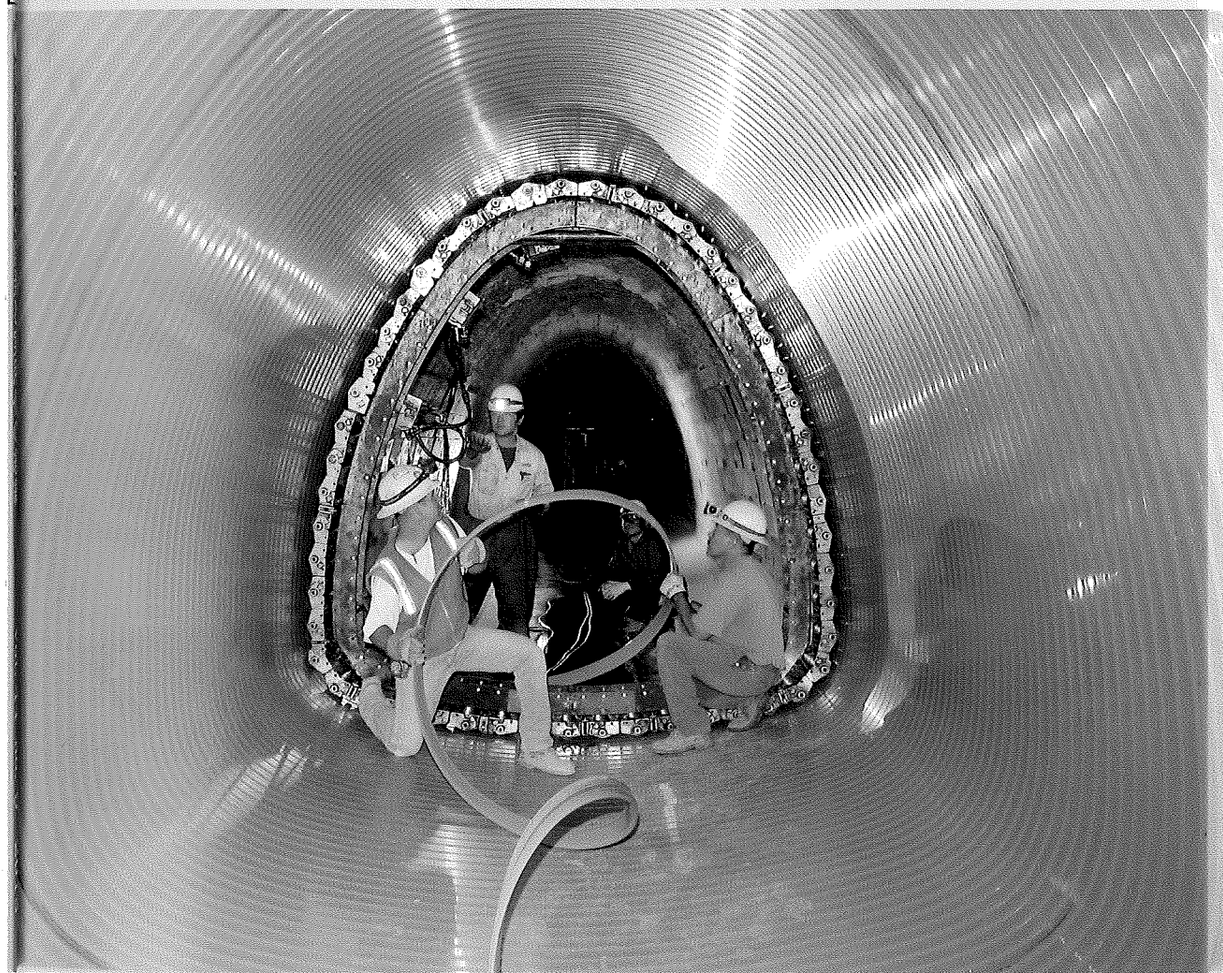
トンネルと地下 9

vol. 44
no. 9
2013

Tunnels and Underground

双設シールドの間に矩形PCウェル工法でEVシャフト35mを築造
トンネル掘削に伴う地下水流動対策検討
SPR工法の開発と実用化の経緯
土圧式シールド工法の掘削土砂に関する調査結果
トンネル建設が地すべり挙動に及ぼす影響に関する実験的研究

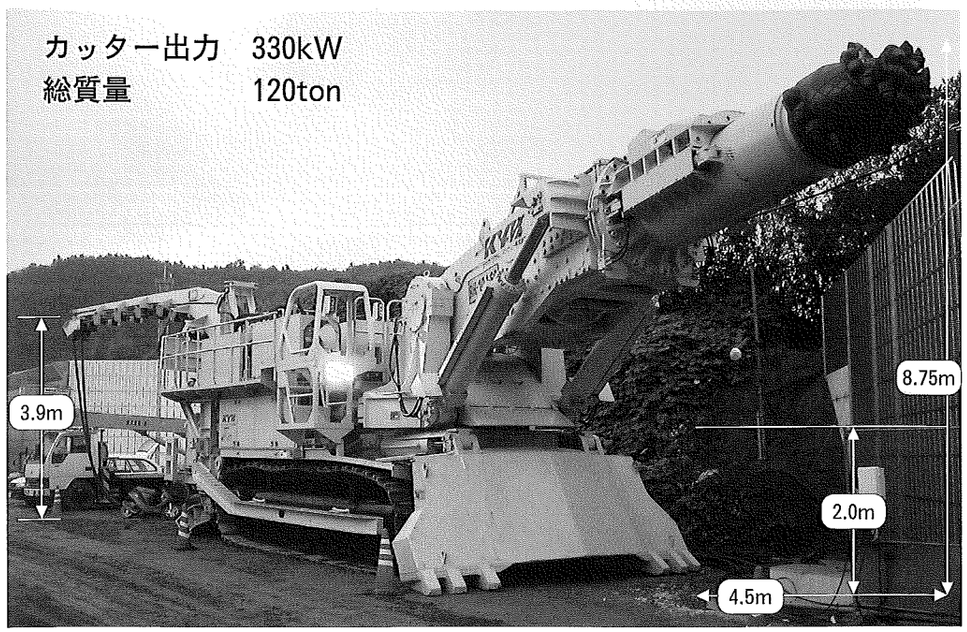
日本トンネル技術協会誌



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

カッター出力　330kW
総質量　120ton





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9.0m
- 高圧水ジェット噴射で粉塵抑制とビット消費量低減。
- 接地圧が低く、軟弱地盤にも対応。

KYB カヤバ システム マシナリー株式会社

KAYABA SYSTEM MACHINERY CO.,LTD.

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

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

トンネル工事用 電気集じん器

e-DUSCO 240

イーダスコ・ニーヨンマル

究極の省エネ

70%も節電

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



お陰様で経済産業省後援、第39回優秀環境装置表彰において日本産業機械工業会会長賞を受賞しました。

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

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

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

大風量と省エネを同時に実現
処理風量は20%増えたのにいっそう省エネ。
安定した処理風量でCO_2削減を実現するエコ製品です。

仕様	
品名	e-DUSCO240
型式	FTE2400
処理風量	1800・2100・2400m³/min、任意設定の4モード
全長	7411mm(サイレンサ含む)
全幅	2350mm
全高※1	3700mm
本体重量	10t
電源仕様	3相3線400V58kVA
ファン動力	30kW
消費電力	23kW・28kW・33kW・任意
洗浄水	2.4m³/回
捕集ダストの処理	湿式
集じん効率※2	95%以上

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

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

本　社
〒100-8370　東京都千代田区丸の内2-2-3
第二営業部　☎03-3212-7804

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

高耐食性めっき「ZAM®」鋼管を採用した膨張型摩擦式ロックボルト

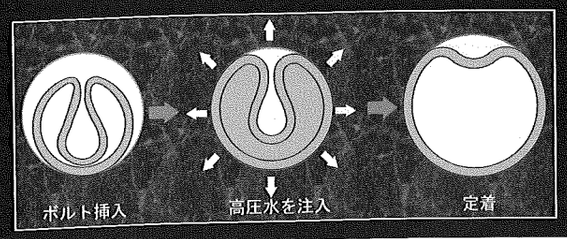
RPE ROCKBOLT

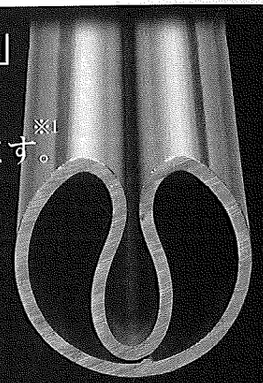
RPE ロックボルト

RUST PROOFING EXPANSIVE

「鋼管膨張型摩擦式ロックボルトの進化形」

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



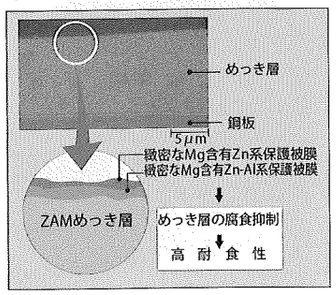


※1 地山条件によってめっき層の寿命は大きく変動します。

①「RPE ロックボルト」の特徴

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

◎ZAMの耐食機構



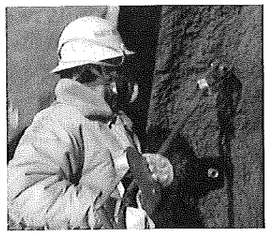
・「ZAM」は、日新製鋼株式会社の登録商標です。
・「ZAM」は、日新製鋼株式会社が開発した溶融亜鉛 Zn-アルミニウム Al-マグネシウム Mg 合金めっき鋼板の商品名です。

②「RPE ロックボルト」の仕様

■ RPE ロックボルトの種類

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

※標準長さの( )内は、受注生産になります。



(RPE ロックボルト施工状況)

株式会社 ケー・エフ・シー
東京土木営業部：東京都港区芝公園 2 丁目 4 番 1 号 TEL 03－6402－8251
大阪土木営業部：大阪市北区西天満 3 丁目 2－17 TEL 06－6363－1884
技術部 ：東京都港区芝公園 2 丁目 4 番 1 号 TEL 03－6402－8256

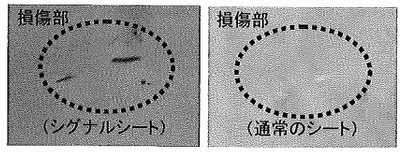
損傷を目視で確認できる防水シート

シグナルシート

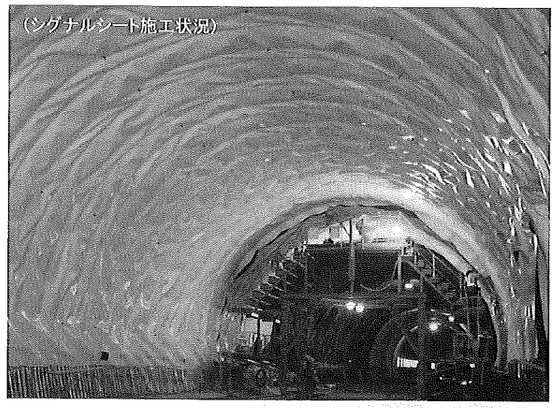
NETIS 登録番号
KK-100083-A

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





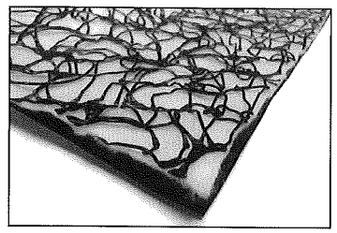
通常のシートに比較し、通常の明かりにおいて目視でたやすく損傷が確認できます。



「立体網状体」による高排水機能

立体網状体付き長繊維不織布

「立体網状体」の効果により、抜群の排水性能を発揮します。

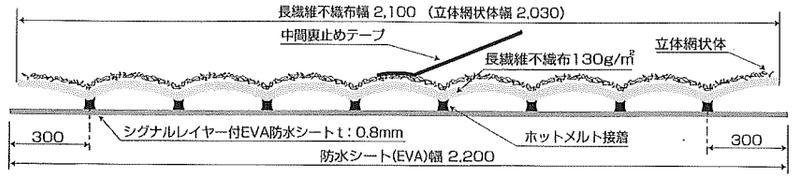


「立体網状体付き長繊維不織布」は通常の厚さ3mm の不織布に比較して約40倍の排水性能を有します。

排水能力比較結果 (試験方法 ISO12958 準拠)

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

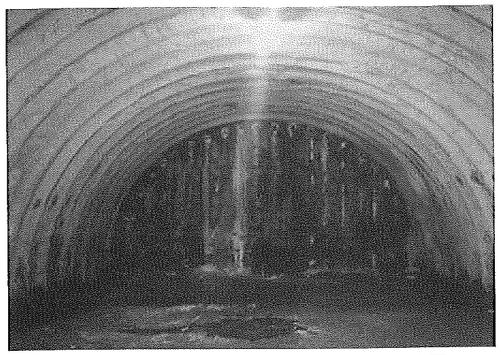
■ 「シグナルシート」と「立体網状体長繊維不織布」の組み合わせ



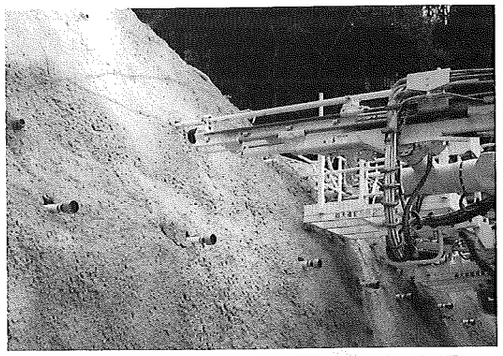
株式会社 ケー・エフ・シー
東京土木営業部：東京都港区芝公園 2 丁目 4 番 1 号 TEL 03－6402－8251
大阪土木営業部：大阪市北区西天満 3 丁目 2－17 TEL 06－6363－1884
技術部 ：東京都港区芝公園 2 丁目 4 番 1 号 TEL 03－6402－8256

日本で生まれ、世界へ広がる。
NATMの補助工法

当社は「AGF工法のパイオニア」として，数多くの実績を築いてきました．
この豊富な施工実績を基にした技術対応力で，バックアップ体制をとっています．さらに，豊富なビットシステムと多様な注入システムを保有しているため，「AGF工法～小口径二重管削孔システム」まで，地山条件や施工条件など目的に応じたご提案ができます．



（施工例）断面内からの無拡幅AGF工法



（施工例）鏡面への小口径二重管削孔システム

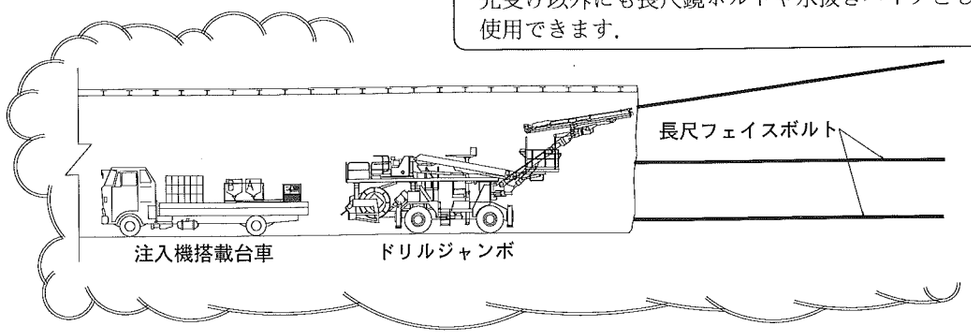
AGF工法のバリエーション

プロトタイプ
無拡幅タイプ
最小拡幅タイプ

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

小口径二重管削孔システム

鋼管径φ89.1㎜～60.5㎜まで対応ができ，鋼管・スリット管・特殊樹脂管が選べます．
↓↓
先受け以外にも長尺鏡ボルトや水抜きパイプとして使用できます．



注入材のバリエーション

■シリカレジン注入材
- スーパーSRF(標準タイプ)
- スーパーSRF(Sタイプ)
- スーパーSRF(低粘度タイプ)

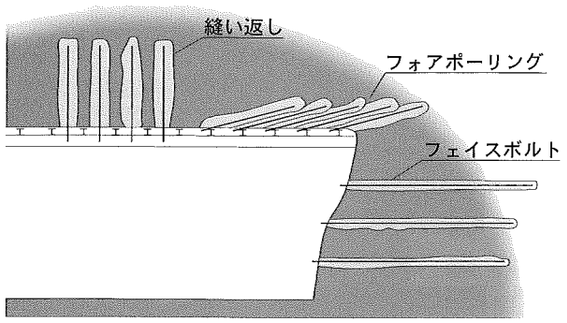
■ウレタン注入材
- ガンバンスーパーS

■無機系注入材
- シリカセーフ



（施工例）固結状況

注入ボルトのバリエーション



注入式フォアポーリングや鏡ボルト等に使用する注入ボルトとして，
- PUボルト
- KATアンカー
- GPRマルチタイプロックボルト

等があり，地山条件や使用目的に応じて選択できます．

主　要　営　業　品　目

- スーパーシート(防水シート)
- ツイストロックボルト
- 異形ロックボルト
- KAT自穿孔ロックボルト
- GRPマルチタイプロックボルト
- 各種注入材
- アルカリフリー型液体急結剤AFK―777J
- 各種AGF工法
- Small―P工法/パノラマ工法
- 注入式フォアポーリング
- 濁水処理設備
- 建設資材全般

KATECS

株式会社 カテックス
建設資材事業部

ホームページ http://www.katecs.co.jp/

技術営業部
TEL)052-331-8821 FAX)052-332-0164

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

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

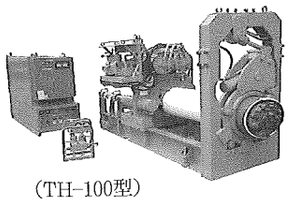
関西営業所
TEL)06-6578-3235 FAX)06-6578-3237

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

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

THパイプルーフ工法

NETIS 登録　No.KT-120020-A



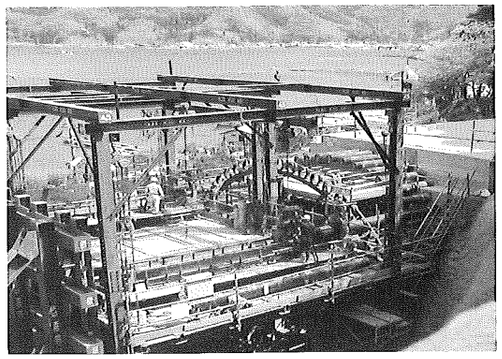
(TH-100型)

確実な空間確保

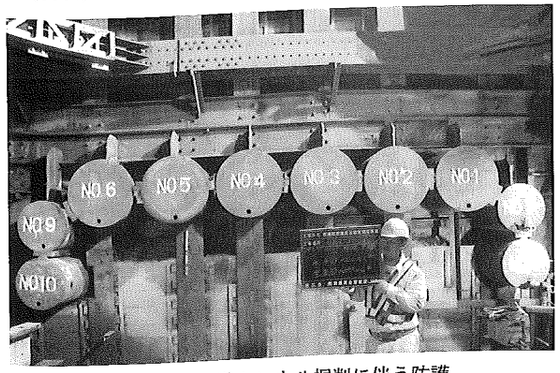
高精度・全地盤型　水平鋼管圧入システム

★特　徴★

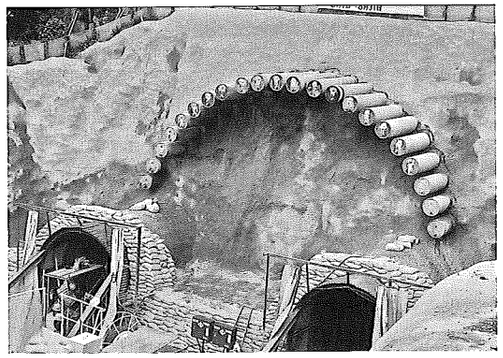
- 本体掘削時の沈下抑制補助工法です
- 常時管芯チェックが可能で，方向修正方式を採用
  (精度が良いため支保作業が容易)
- オーガ中堀り掘削，地山との空隙に同時注入も可能
- 推進途中でのビットの交換が可能で地層変化に対応
- 適応管径は，φ200A～φ1200A
- 最大推進長は，約70～100m
- 推進機は，推力1000kN(100t)2000kN(200t)3000kN(300t)



パイプルーフ施工状況



都市型地下道トンネル掘削に伴う防護



山岳トンネル坑口防護

〔会　員〕※会員 募集中 [お問い合わせは下記事務局まで]

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

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

THパイプルーフ技術協会

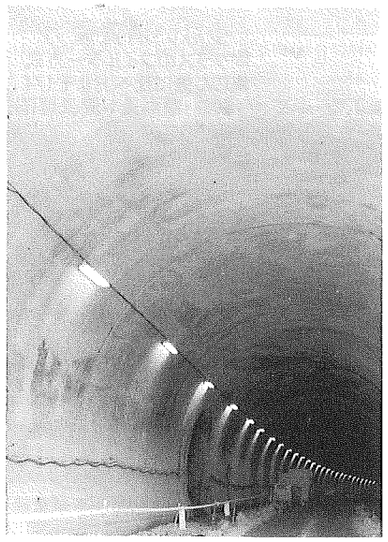
〒140-0002 東京都品川区東品川4丁目4番7号 東邦地下工機㈱内

TEL 03-3474-3143　FAX 03-3474-3163　E-mail:jimukyoku @ piperoof.jp

コンクリートの劣化，欠陥箇所の改修，補修……

急硬性改修モルタル

ドクターQ改修工法



〈工期短縮，即日仕上り〉

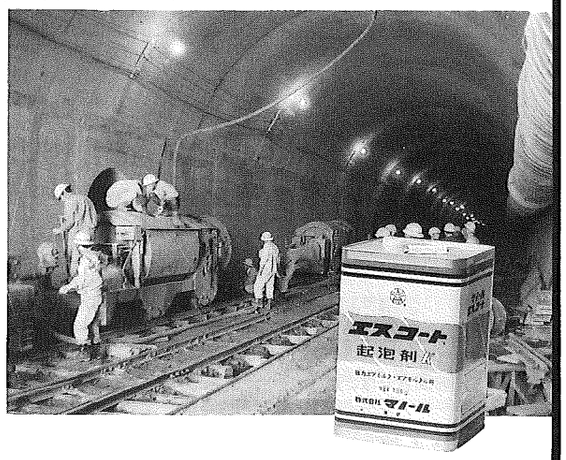
プレミックス急硬モルタルと
特殊ラテックスの
複合材で
短時間で実用強度が得られる
即日補修工法です。

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

エアモルタル裏込め注入……

エスコート

L&K 起泡剤



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

◆土木資材の綜合プランナー◆

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

最新型・電気集じん機

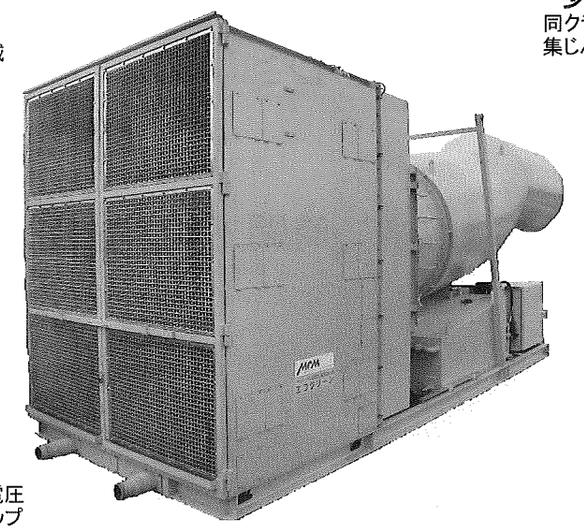
エコクリーンX

NETIS登録番号：KT-040047-A

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

極板放電方式
放電線をなくし消耗品の
削減と断線トラブルの撲滅

少ない消費電力
同クラスのフイルター方式
集じん機に比べおよそ1/4



コンパクト
同クラス集じん
機の中で最小

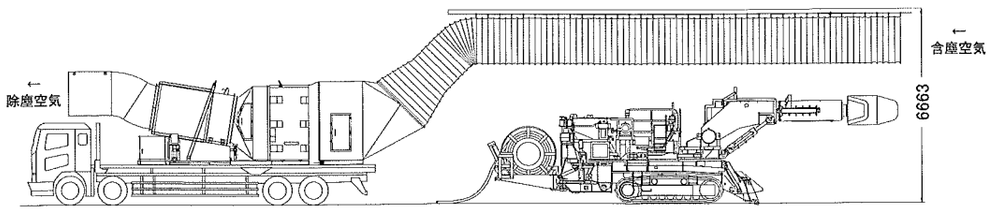
処理風量
750㎥/minから3000㎥
/minまで製作実績あり

貯水タンク
自動洗浄が
随時可能

高圧電源分割
集じんユニット毎の個別電圧
印加により集じん効率アップ

オプション
自走クローラ台車
自走ホイール台車
伸縮風管...etc.

伸縮風管(軽量型Φ1500,Φ1600製作実績あり)



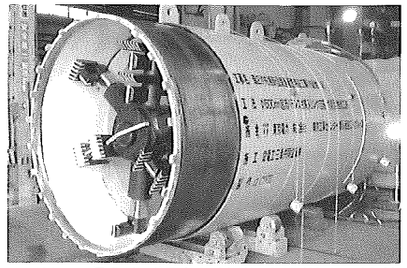
伸縮風管接続例

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

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

超流バランスセミシールド工法　超流セミシールド協会

貫入リング押出し回転切削型接合工法



φ1500mm 貫入リング回転切削型掘進機(接合切削時)

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

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

密閉型先受け長距離・曲線パイプルーフ工法



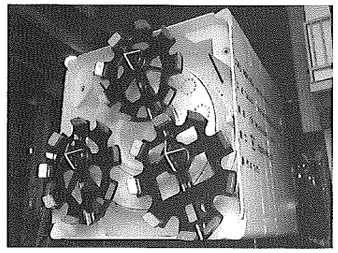
φ1016mm鋼管対応リターン回収機能付掘進機

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

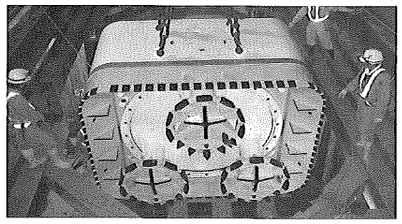
密閉型先受け長距離・曲線パイプルーフ工法の特徴
- JIS鋼管φ812～φ1216に対応可能(角鋼管も対応可能)
- 密閉型掘進機のため、高水圧下においても施工可能
- 長距離・急曲線推進が可能
- 軟弱層～粘性土層～硬質土層に対応可能
- 到達回収立坑がない場合でも、迅速な引き戻し回収が可能

ボックス推進工法　ボックス推進工法協会　NETIS　QS-100019-A

多軸自転・公転掘進機(内空寸法□3000×3000)

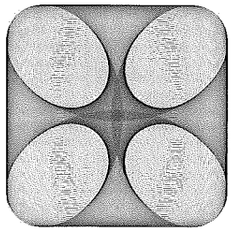


多軸自転・公転掘進機(内空寸法□2800×1800)



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

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



カッタービット軌跡

ボックス推進工法の特徴
- 低土被り推進が可能
- 長距離・曲線推進が可能
- PC・RCボックスカルバート函体および角鋼管に対応可能
- 密閉型のため切羽の安定性に優れ、地山の緩みを防止可能
- 高トルク掘進機のため、多用な土質に適用可能
- 工場製品のボックスカルバート函体を直接推進するため、迅速な施工が可能

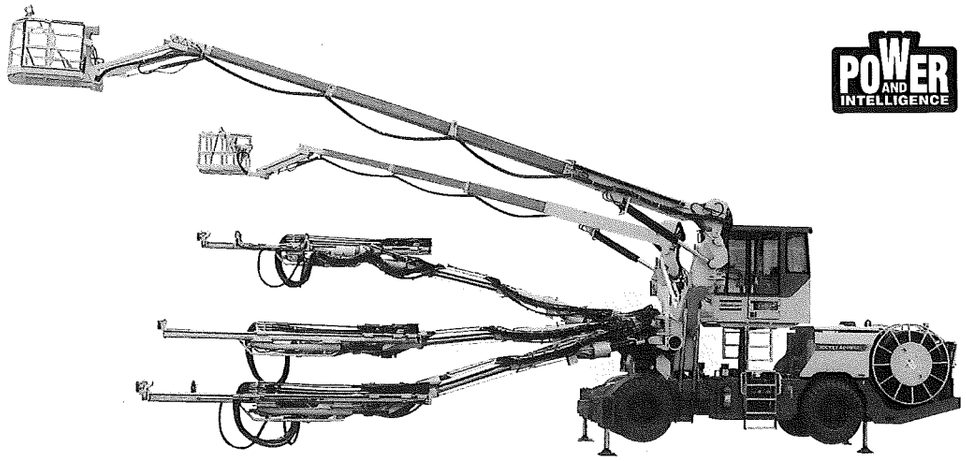
協会事務局・技術本部　株式会社アルファシビルエンジニアリング
〒812-0015福岡市博多区山王1丁目1番18号
TEL(092)482-6311　FAX(092)482-6363
E-mail:arfa@oregano.ocn.ne.jp
URL http://www.alpha-civil.com

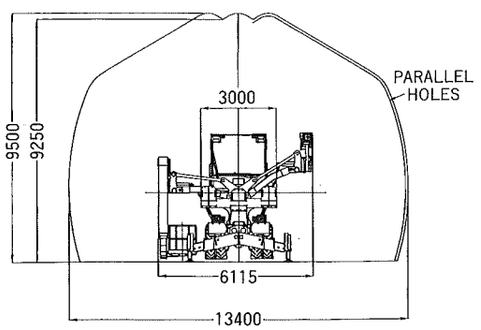
建設コンサルタント登録番号：建23第8677号
測量登録番号：登録第(2)-30507号
建設許可番号：国土交通大臣許可(特-23)第19193号

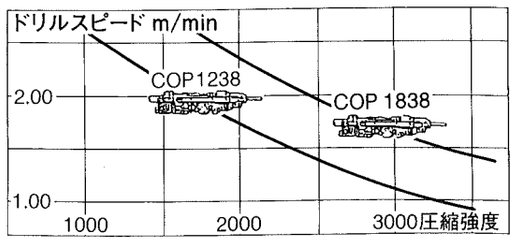
※各工法協会員名簿については、ホームページをご参照下さい。

アトラスコプコ・コンピュータジャンボ

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





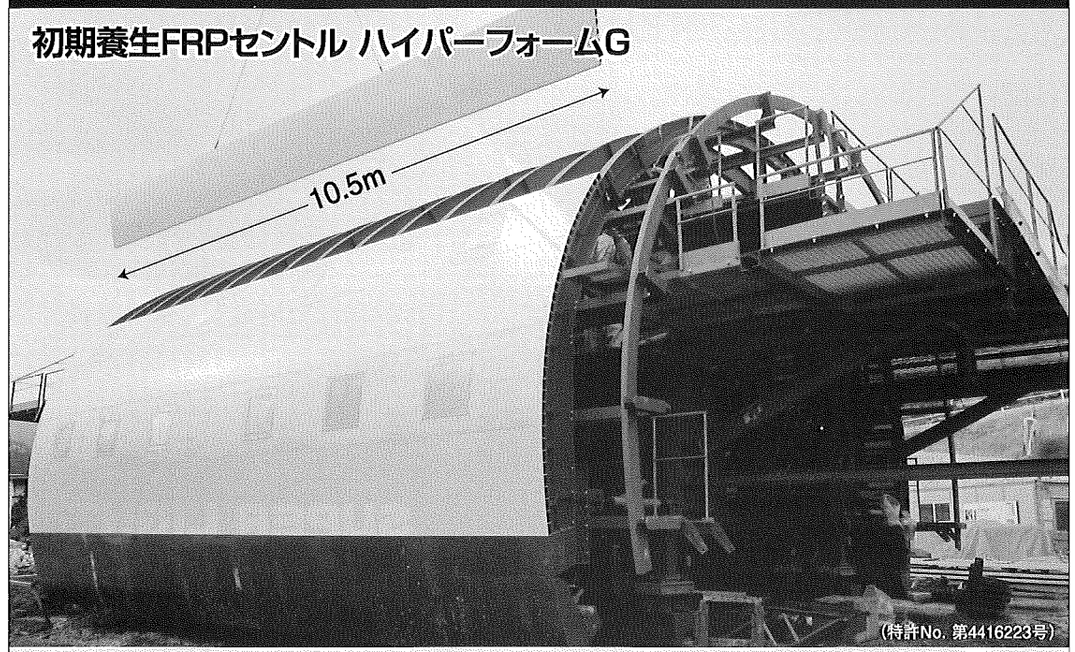


ドリルマシン株式会社
DRILL MACHINE CO.,LTD.

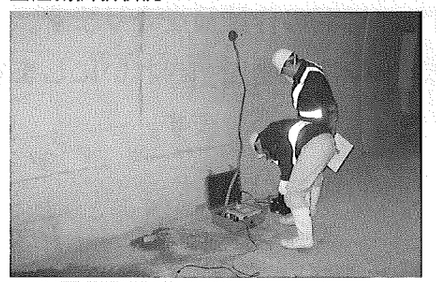
本　　社　〒116-0014　東京都荒川区東日暮里6-16-8桂ビル5階
TEL(03)3806-3377番　FAX(03)3806-8461番
関西支店　〒657-0864　兵庫県神戸市灘区新在家南町5-8-4
TEL(078)802-5551番　FAX(078)802-5528番
九州支店　〒839-0841　福岡県久留米市御井旗崎1-6-14
TEL(0942)43-5315番　FAX(0942)43-5832番
広島出張所　〒739-2613　広島県東広島市黒瀬町楢原1336-1
TEL(0823)36-7787番　FAX(0823)36-7791番
兵庫工場　〒679-1332　兵庫県多可郡多可町加美区大袋川端454-3
TEL(0795)36-0461番　FAX(0795)36-0467番

新着ニュース

FRPセントルによる覆工コンクリートの密実性を検証



■透気試験状況



国土交通省東北地方整備局楢還トンネル ㈱フジタ施工

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

特徴

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

M.K.E 株式会社 エムケーエンジニアリング

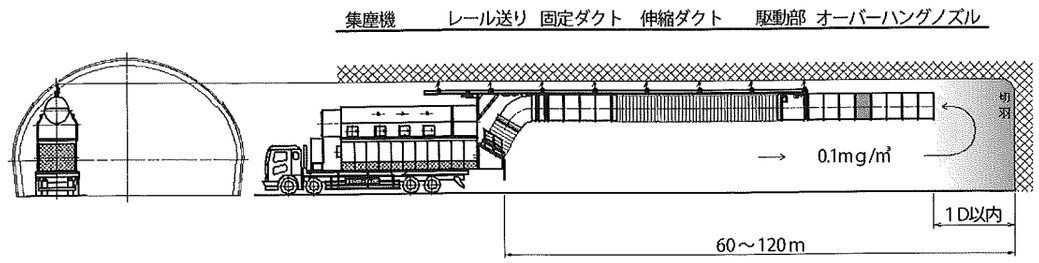
■ 本　　社　〒553-0006　大阪市福島区吉野1-20-30 阪神野田駅前ビル　TEL:06-6443-7060
■ 九州営業所　〒812-0011　福岡市博多区博多駅前2丁目20番1号　TEL:092-409-8008
■ 指定工場　〒919-0441　福井県坂井市春江町定重(森本工業)　TEL:0776-51-2410

時代は吸引捕集方式へ・・・

トンネルじん肺を根絶できる最良の方法です



- 吸引捕集方式は切羽直下で粉じんを吸引し、切羽の作業員を守ります。
- フィルタ式集塵機で大気レベルに清浄化、トンネル全域をきれいにします。
- 発破後の換気時間を短縮、余掘防止など生産性も向上します。
- 国際トンネル協会 (ITA) も推奨している方式です。



最適環境を創造する
株式会社流機エンジニアリング

〒108-0073 東京都港区三田 3-4-2 COI 聖坂ビル
℡：0120-449-881
U R L：http://www.ryuki.com/
E-mail：eigyobu@ryuki.com

(PC・スマホ専用)

This May Debut

TAG Navi–V（換気自動制御）

Automatic Ventilation Control System

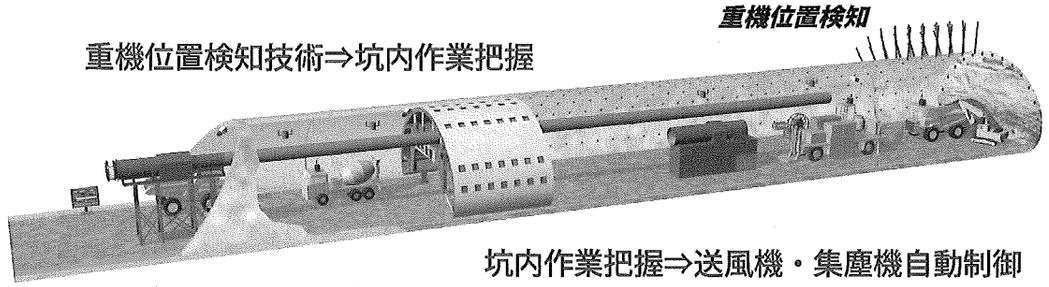
CYBER NATM

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



重機位置検知

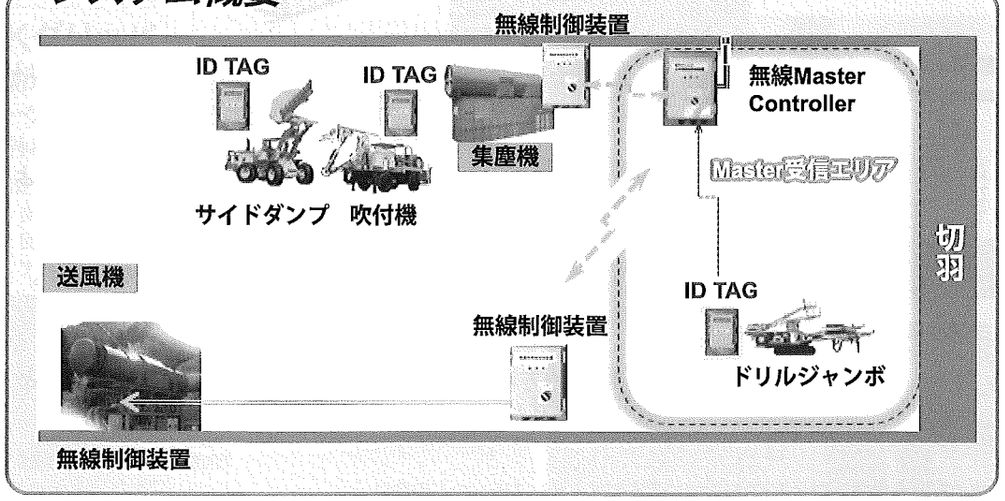
重機位置検知技術⇒坑内作業把握



坑内作業把握⇒送風機・集塵機自動制御

データ伝送・自動制御

システム概要



株式会社流機エンジニアリング

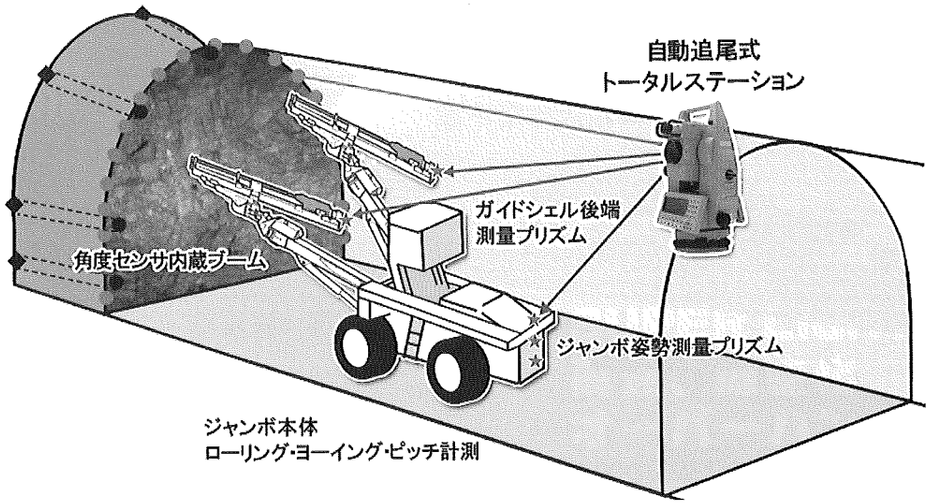
株式会社 演算工房 *ENZANKOUBOU CO.,LTD.*
■京都本社 〒602-8268 京都府京都市上京区智恵光院通中立売下ル山里町237番地３
TEL：075-417-0100 FAX：075-417-0200

NETIS登録番号:KK-100049-A

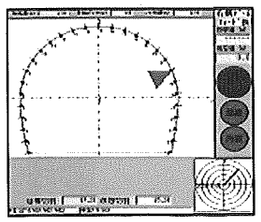
自動追尾式余掘り低減システム

国土交通省　公共工事等における新技術活用システム『NETIS』に登録。

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



■ディスプレイ表示



さく孔位置・さし角表示

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

多数の採用実績および余掘り低減の実績を有する本システムのご用命は

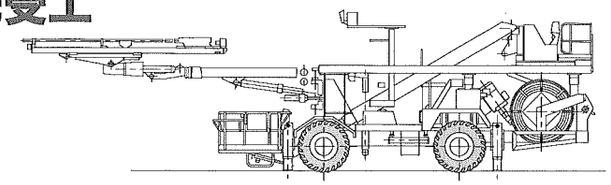
MAC マック 株式会社
〒272-0832　千葉県市川市曽谷8-16-3
TEL:047-371-3191　FAX:047-371-3190

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

環境対応型長尺鋼管先受工

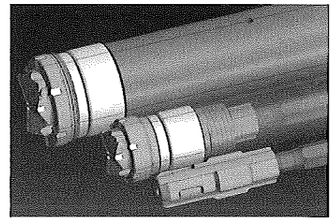
TOHO AGF System

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

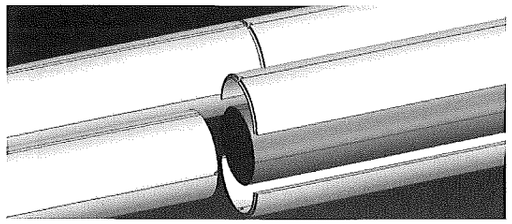


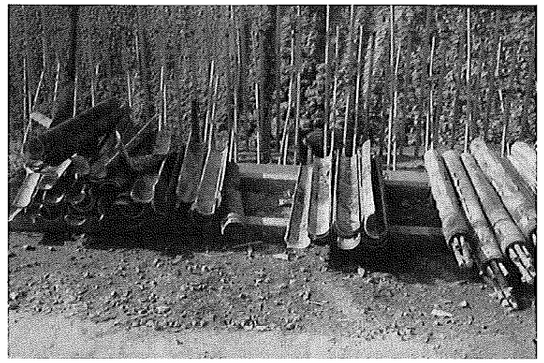
AGF-Me工法

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



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



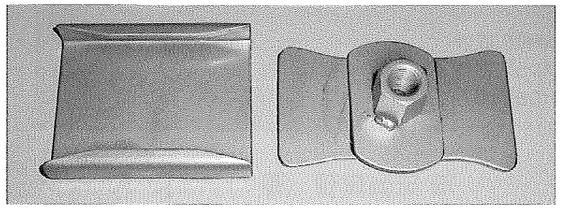


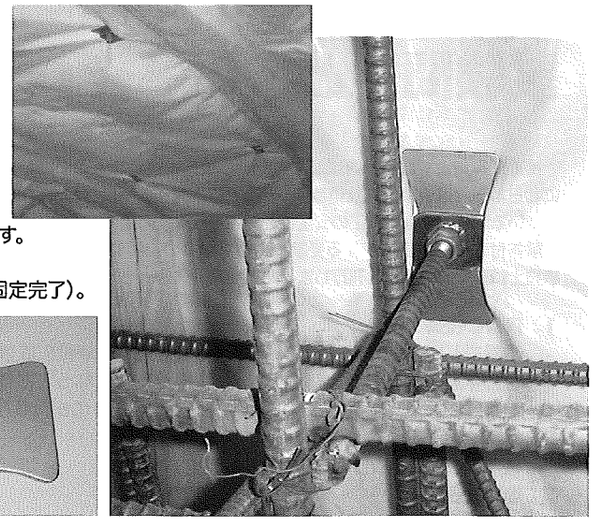
防水シート非貫通型鉄筋吊り金具

TKグリッパー

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

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





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

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

月刊推進技術
定期購読のご案内



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

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

申込方法

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

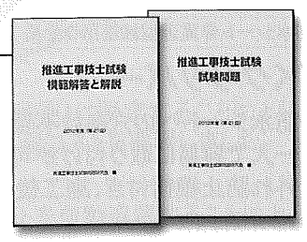
詳しくは、月刊推進技術編集室にてご案内いたしております。

定期購読のお申し込みは
右のQRコード
または本誌ホームページから

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

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

推進工事技士試験　過去11年間（平成14～24年度）
試験問題と模範解答・解説集
推進工事技士試験問題研究会編



推進工事技士試験は、推進工法に係わる技術、技能を適正に認定することを目的に㈱日本下水道管渠推進技術協会（現㈳日本推進技術協会）が平成４年度より実施している制度で、管渠施工の安全性と品質を確保する上で有益な制度です。

解答付きの解説書に対する受験者の皆様からのご要望に応えて、この程、推進工事技士試験過去問題集を刊行しました。受験対策書としてご活用いただければ幸いです。

平成24年度版発売中!!

1．内容と特長
- ○過去11年間の試験「学科」と「実地」問題を一年単位に収録
- ○各年度の試験問題と模範解答・解説集は別冊になっており実力テストに最適
- ○解説には設問に採用された図書（推進工法体系）の出典箇所を明記

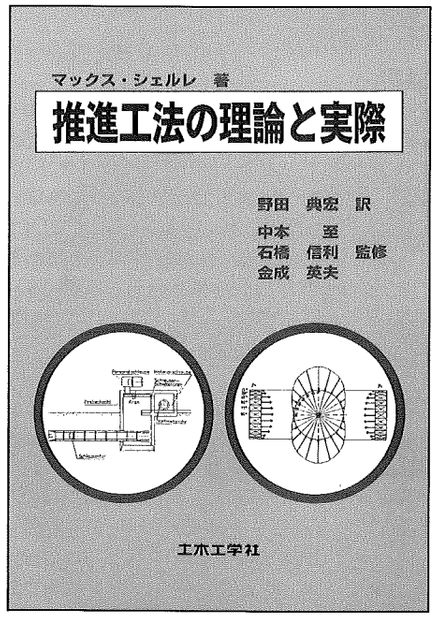
2．価格
各年度単位に1set 2,000円（消費税・送料込）

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

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

推進工法の理論と実際

マニュアルを超えて
推進工法の理解を
さらに深める一冊



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

推薦の言葉

中本　至・石橋信利・金成英夫

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

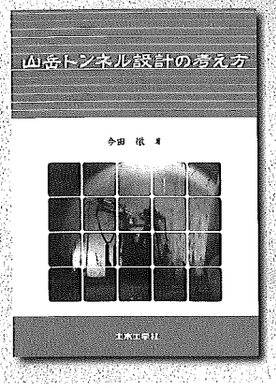
本書では、ドイツで推進工法の研究開発で著名なマックス・シェルレ博士が推進工法における いろいろな疑問について理論的に解明した古典的な名著である。博士は理論面のみではなく、実際の施工にも従事し、実務にも精通していたので、実務面の良さも持っている。

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

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

好　評　発　売　中

山岳トンネル設計の考え方



決定版

東京都立大学名誉教授
今田　徹　著

B５判　183頁　上製本　定価3200円＋税

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

《主要目次》

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

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

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

好評発売中

トンネル発破技術のバイブル

わかりやすい

トンネルの発破技術

監修 山田隆昭　　B５判　76頁　定価 1,500 円＋税（送料別途）

火薬類や発破技術の基礎から最新技術まで！
振動や騒音の環境問題を詳述 !!

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

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

〈主要目次〉

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

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

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

ゴムクロ・ミキサー車

国土交通省排ガス2次トンネル工事用指定



クローラーだから小旋回

斜路、軟弱路盤等悪路に強い!!

後部運転席付。小断面でも前後進が可能!!

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

〒569-0836
大阪府高槻市唐崎西2-26-1

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

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

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

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

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

【仕様】 ゴムクローラ式ミキサー車 TGM-MR45T
上部ミキサー：カヤバ製（混合容量4.5m³）

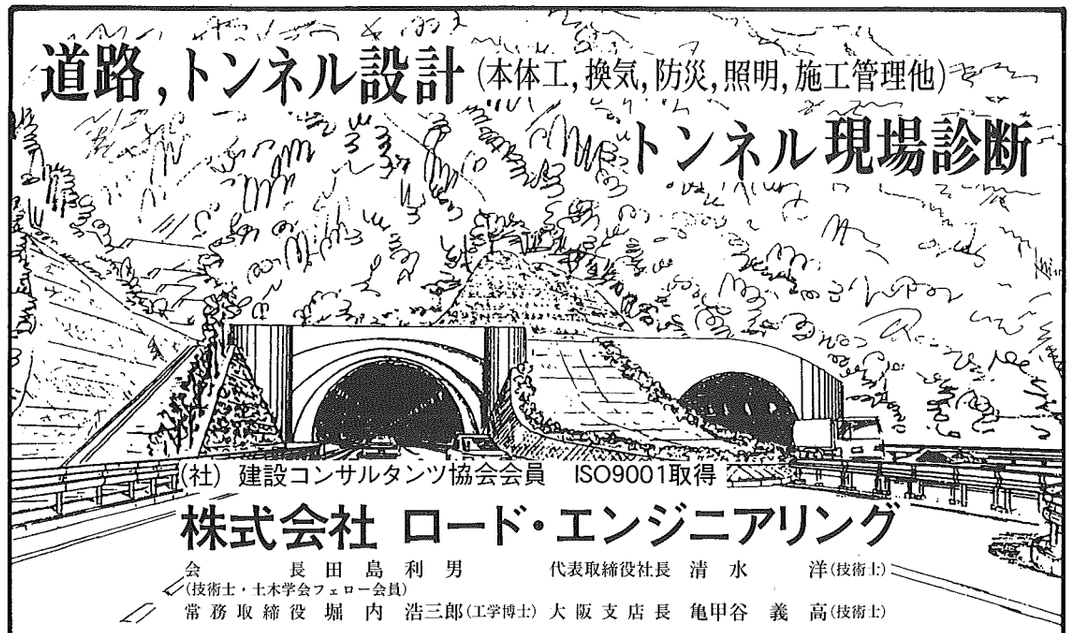
全長	7,500mm	タンブラ中心間距離	3,870mm
全幅	2,690mm	クローラ全長	9,800mm
全高	3,620mm	クローラ幅	700mm
最低地上高	530mm		（100ピッチ×98リンク）
空車質量	11,000kg	セメント積載時質量	22,000kg
形　式	三菱6D-TLE2B	定格出力	165kw/2,700min
排気量	7,545cc	最大トルク	700N・m/1,300min
速度1段	最大 7.6km/h		
速度2段	最大 20.0km/h		
空車時接地圧	20kpa	搭載時接地圧	40kpa

【TGM-MR45T Ⅱ 仕様】

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



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



（社）建設コンサルタンツ協会会員　ISO9001取得

株式会社 ロード・エンジニアリング

会　長　田　島　利　男　　代表取締役社長　清　水　　洋（技術士）
（技術士・土木学会フェロー会員）
常務取締役　堀　内　浩三郎（工学博士）　大阪支店長　亀甲谷　義　高（技術士）

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

トンネル工事からパンクを追放

坑内用特殊複層タイヤ



特許第1610830号

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

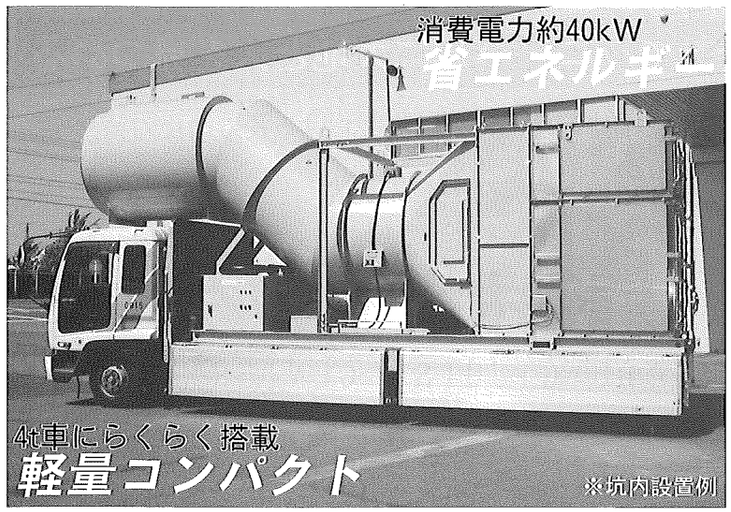
- タイヤ間の間隙が無いため石を噛まない
- サイドの切断に強い
- 石および普通釘に強い
- 弾性波

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

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

中濃産業株式会社
代表取締役　土　田　義　弐

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



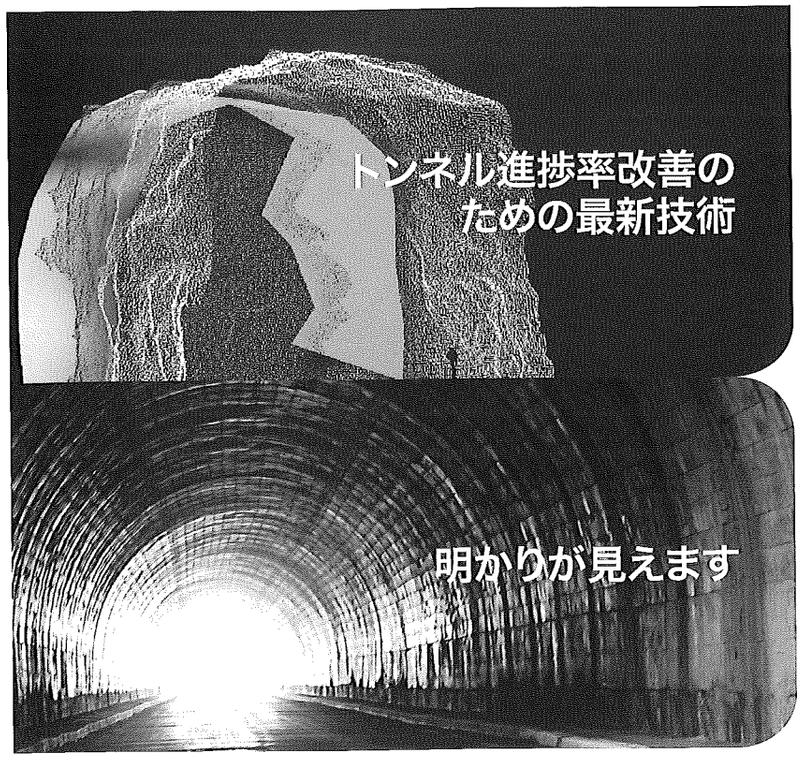
National電気集塵機クリンジェット（2,000m³/minタイプ）

RENT
取扱レンタル商品

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

株式会社 レ ン ト　　特機営業課　担当者　工藤

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



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

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

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

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

ORICA
MINING
SERVICES

先進の技術と発想でグローバルに大地と人を見つめる

～ トンネルにおける維持補修管理・在来工法における長寿命化対策 ～

道路・トンネル・橋梁

（社）建設コンサルタンツ協会会員　総合建設コンサルタント

株式会社 建設技術センター

KENSETSU GIJUTSU CENTER,LTD.

http://www.c-kengi.co.jp/index.html

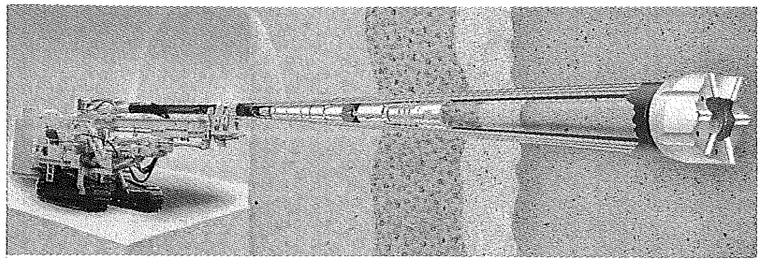
代表取締役 佐藤礼一

技術本部長 西園裕一

本　　社：〒102-0072	東京都千代田区飯田橋4丁目7番10号	電話（03）3262-8647
東北支店：〒982-0262	宮城県仙台市青葉区西花苑2丁目15番23号	電話（022）302-1195
関東支店：〒262-0023	千葉県千葉市花見川区剣見川町3丁目308番22号	電話（043）272-7306
中部支店：〒460-0002	愛知県名古屋市中区丸の内2丁目14番4号	電話（052）219-8711
関西支店：〒674-0066	兵庫県明石市大久保町福田1丁目10番14号	電話（078）937-0580
九州支店：〒813-0043	福岡県福岡市東区名島1丁目23番17号	電話（092）663-1720

トンネル掘さくの安全施工に
アロードリル前方探査システム

パーカッションワイヤーライン サンプリング工法



■特長

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

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

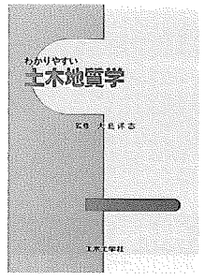
KOKEN 鉱研工業株式会社

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

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

〔好評発売中〕

わかりやすい土木地質学



大島洋志 監修
Ｂ５判　209頁　本体価格2,500円　〒340円

主要目次

序　編　トンネルと地質の関わり
1．地質学とは，応用地質学とは　2．トンネルと地質

第Ⅰ編　トンネル工事に必要となる基礎的地質学
1.地球の構造　2.地層や岩石の分類　3.地質作用　4.地質構造　5.地形と地質との関わり　6.日本の地質　7.地下水

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

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

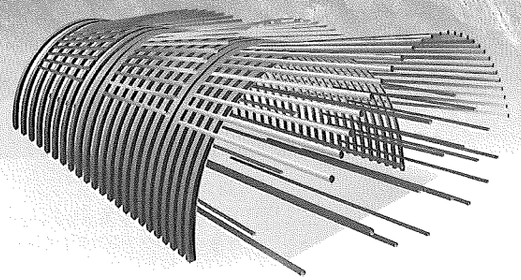
第Ⅳ編　工事を対象とした地質調査の進め方
1.調査の基本　2.地山条件の調査の流れ　3.トンネル工事のための地山評価法　4.調査の成果

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

株式会社 土木工学社

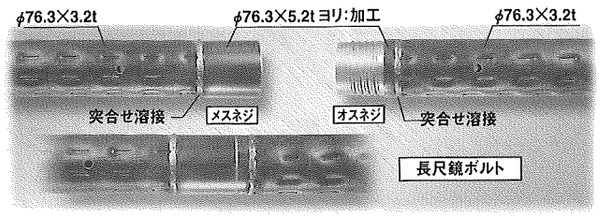
〒162-0832 東京都新宿区岩戸町16メイジャー神楽坂
電話　(03)3267-2888（代）　振替00110-8-190072

ユニークな発想でVEを提案



FIXチューブ(S型)（ストロング）

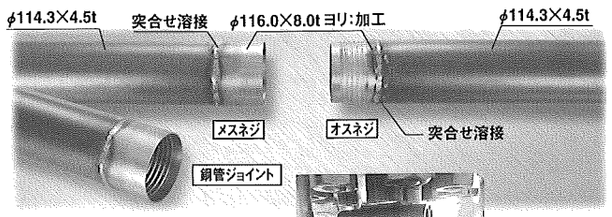
※長尺鏡ボルトは凹み面状の鋼管で周辺地山をしっかりとFIXします。
※長尺フォアパイリングのねじ強度改善!
※鋼製シースで環境に優しい無拡幅施工!



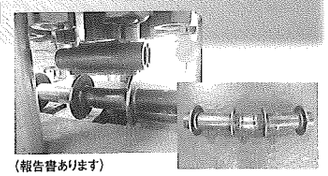


AGF-STD工法

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



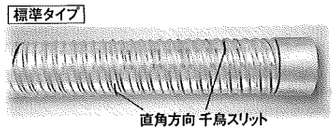
曲げ耐力30%UP!!



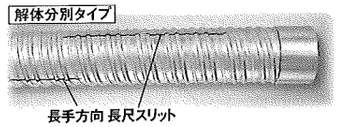
（報告書あります）
接続部の抗折力試験

撤去管の選択

標準タイプ



解体分別タイプ





STD BITS (ロストリング方式)

呼称	鋼管径	リングビット径
100A	φ114.3	φ124

注入材・その他工法

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

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

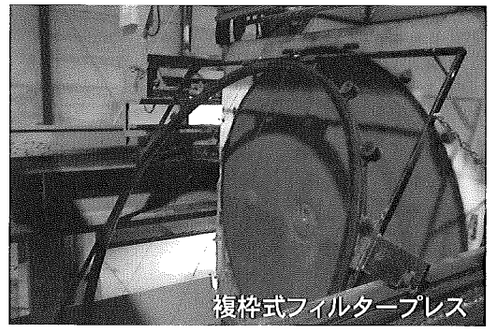
濁水処理からズリ出しまで トータルにフォローアップいたします

環境にやさしい

TWS型濁水処理シリーズ

小規模のpH中和装置～ダム骨材用の大規模処理装置まで対応します


100.0㎥/Hr 濁水処理設備

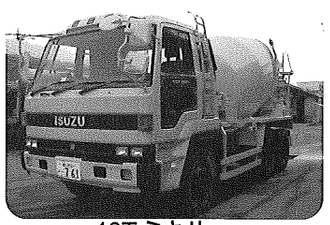

複枠式フィルタープレス

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

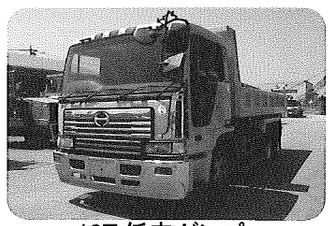
≪汎用車輌全般≫


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




10T ミキサー


4.5㎥ベッセル搭載ダンプ


10T 低床ダンプ


10T ダンプ

各種車輌 取り扱っております

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

トンネルと地下　9月号目次　Vol.44, No.9, 2013 Sep.

■巻　頭　言

ダム建設とトンネル工事
進藤　裕之……5

■研　　究

トンネル建設が地すべり挙動に及ぼす影響に関する実験的研究
久武　勝保・大野　司郎・鈴木　啓介・小林　　嵩……57

■報　　告

土圧式シールド工法の掘削土砂に関する調査結果
並川　賢治・吉川　直志・長田　光正……47

■計　　画

トンネル掘削に伴う地下水流動対策検討
―新名神高速道路　箕面トンネル―
伊藤　哲男・宇根　孝司・佐伯　　徹……17

■解　　説

SPR工法の開発と実用化の経緯
髙見　浩三・前田　正博・藤井　重樹・足立　邦夫……27



CONTENTS CONTENTS CONTENTS CONTENTS CONTENTS CONTENTS

■施　　工

双設シールドの間に矩形PCウェル工法でEVシャフト35mを築造
―東京メトロ千代田線　新御茶ノ水駅―
柳迫　　久・眞弓　恵佑・立石　健二・戸田　雅明……7

■連 載 講 座

トンネルにおける地下水対策（2）
―地下工事における地下水トラブル―
「地下水対策」連載講座小委員会……65

■現場だより

「縄文の里」八戸より
伊藤　毅浩……15

■語り継ぎ　言ひ継ぎ行かむ

緊張連続　トンネル人生の面白さ
大内　　悟……35

■資　　料

土木情報
編　集　部……16

トンネルジャーナル
編　集　部……56

文献紹介
編　集　部……75

工法・技術製品ニュース
編　集　部……76

■会　　報

会　　報
日本トンネル技術協会……77

【表紙説明】　SPR工法の開発と実用化の経緯



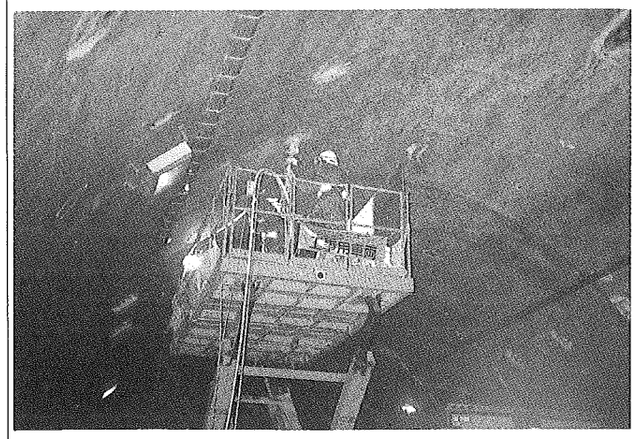
老朽化が進んだ下水道管路の更生工法として，SPR工法を開発した．本工法は画期的な材料，機材，施工法などを開発，下水供用中，かつ，完全な非開削での施工を実現したもので，管路の内部に塩ビ樹脂製の帯状体を螺旋に巻回し，間隙に特殊モルタルを注入して既設管と一体化させ，新管と同等以上の性能に復元するものである．また，開発後も絶え間ない技術改良を加え，現在では日本国内はもとより海外でも採用実績が増えてきている．写真は米国ロサンゼルスでの施工状況である．

〔**写真提供**：積水化学工業(株)〕（本文27頁参照）

硬質発泡ウレタン

セットフォーム工法

急結性・高性能空隙充填材

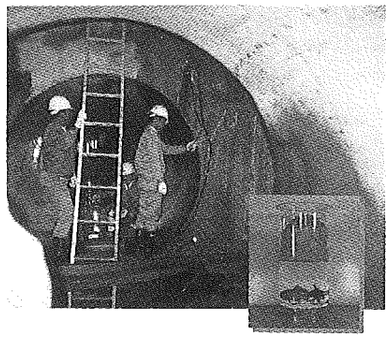


- シールドにおける滞水層，軟弱地盤の全面裏込め注入
- シールド急曲線部の裏込め注入（即時地盤反力の効果）
- トンネル構造物などの背面空洞充填
- 深基礎工法の裏込め（止水,裏込め後の即時掘削可能）

漏水を瞬時にストップ!

SF-A工法

長期耐久性に優れた
無溶剤タイプの
ウレタン系止水材



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

ケミカルフォーム協会会員

アルス株式会社	〒950-0944	新潟市中央区愛宕 1-4-25	TEL 025-280-0337
株式会社内田工業	〒332-0032	埼玉県川口市中青木 2-12-2	TEL 048-257-0848
エコシビックエンジ株式会社	〒135-0047	東京都江東区富岡1-12-4み満きビル	TEL 03-3643-7241
エスイーリペア株式会社	〒811-1313	福岡県福岡市南区日佐 5-15-24	TEL 092-585-5133
MC山三ポリマーズ株式会社	〒103-0012	東京都中央区日本橋堀留町 1-2-10 イトーピア日本橋SAビル	TEL 03-3662-0253
株式会社共和	〒462-0832	名古屋市北区生駒町 7-148-1	TEL 052-911-3984
四国リニューアル株式会社	〒780-0815	高知市二葉町 3-5	TEL 088-878-0050
株式会社シーテクノ	〒371-0017	群馬県前橋市日吉町 3-22-3	TEL 027-235-5498
ショーレジン株式会社	〒104-0032	東京都中央区八丁堀3-14-4直平ビル	TEL 03-3551-8391
成和リニューアルワークス株式会社	〒163-0610	東京都新宿区西新宿 1-8-1	TEL 03-5326-0720
株式会社総合開発	〒768-0065	香川県観音寺市瀬戸町 2-14-16	TEL 0875-25-4162
日本綜合防水株式会社	〒171-0022	東京都豊島区南池袋3-11-10ペリエ池袋	TEL 03-5950-8211
林建設工業株式会社	〒998-0023	山形県酒田市幸町 1-6-6	TEL 0234-23-3322
フジモリ産業株式会社	〒141-0022	東京都品川区東五反田2-17-1オーパルコート大崎マークウエスト	TEL 03-5789-2206
前田産業株式会社	〒755-0032	山口県宇部市寿町 3-5-23	TEL 0836-21-2666
株式会社マシノ	〒733-0822	広島市西区庚午中 1-19-23	TEL 082-507-2737
株式会社松井商店	〒062-0902	札幌市豊平区豊平2条 1-1-1	TEL 011-820-8688
株式会社マノール	〒120-0047	東京都足立区宮城 2-4-16	TEL 03-3927-1331
株式会社三原工業	〒531-0074	大阪市北区本庄東1-22-3四本ビル	TEL 06-6371-9947

協会事務局

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

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

総務委員会広報小委員会会誌WGの構成（五十音順・敬称略）

〔主　　査〕

大島洋志　国際航業株式会社上席フェロー技術開発センター最高技術顧問
首都大学東京客員教授

〔幹　　事〕

居相好信
株式会社大林組生産技術本部統括部長

岩田美幸
国土交通省大臣官房技術調査課技術企画官

大津敏郎
株式会社高速道路総合技術研究所道路研究部
トンネル専門主幹

荻野竹敏
東京地下鉄株式会社鉄道本部改良建設部
改良建設企画課長

久多羅木吉治
東亜建設工業株式会社土木事業本部技術部長

小松敏彦
前田建設工業株式会社土木事業本部土木部
トンネルグループ長

志岐寛
清水建設株式会社土木技術本部地下空間統括部
部長

西岡和則
鹿島建設株式会社土木管理本部土木工務部
トンネルグループ長

長谷川雅彦
独立行政法人鉄道建設・運輸施設整備支援機構
鉄道建設本部計画部計画課長

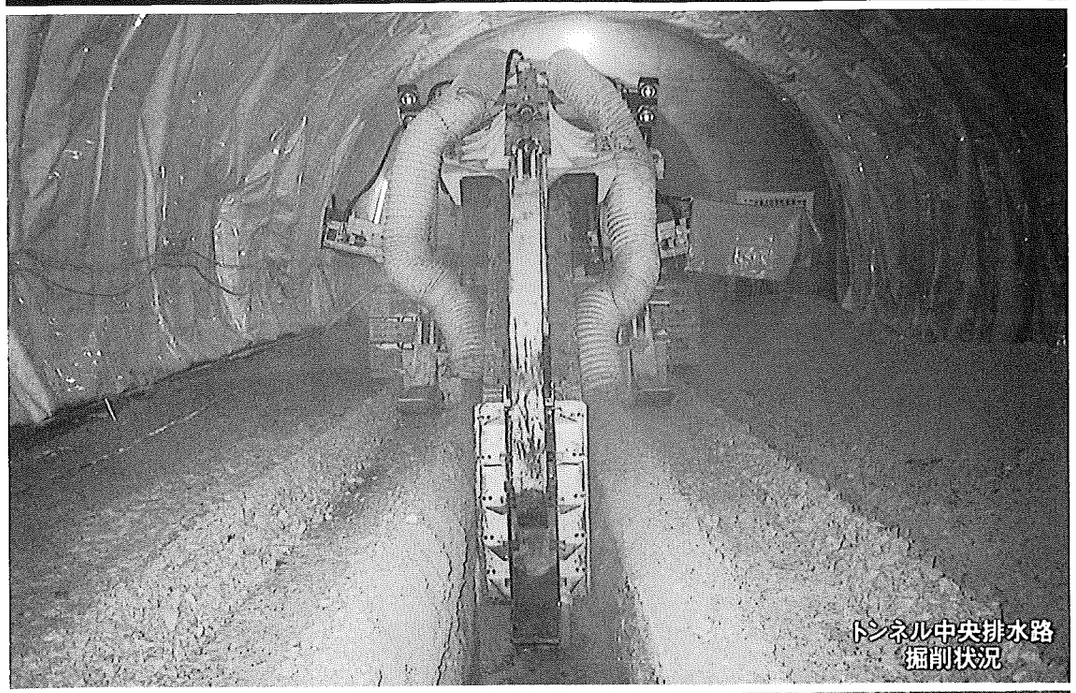
藤井義文
株式会社竹中土木執行役員

松原利之
飛島建設株式会社建設事業本部
エンジニアリング事業推進部長

吉富幸雄
大成建設株式会社土木本部土木技術部
トンネル技術室室長

トレンチャー

硬質地盤の溝掘はトレンチャーをお試し下さい。



トンネル中央排水路
掘削状況



施工例



トレンチャーによる
施工

トレンチャーの性能・諸元

トレンチャーの種類	TRS-985	1175/D6	40/30	60/30
メーカー名	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 cm	60	75	70	70
掘削岩の硬さ(最大)	500kg/cm²	700kg/cm²	700kg/cm²	1000kg/cm²
重量 t	36	40	50	59
長さ m	13.0	10.8	14.0	15.4
幅 m	2.5	3.2	2.95	2.98
高さ m	3.30	2.86	3.00	3.20
エンジンの出力 PS	300	402	450	600

※掘削岩の硬さは目安になります。詳細はご相談ください。

ワールド開発工業株式会社

●本社/営業部　〒381-0101 長野県長野市若穂綿内7484

☎(026)213-7024(代) FAX(026)282-5803　http://www.wkk.co.jp/

編集委員会の構成（五十音順・敬称略）

〔編集委員長〕

大島洋志　国際航業株式会社上席フェロー技術開発センター最高技術顧問
首都大学東京客員教授

〔編集参与〕

木谷日出男
国際航業株式会社技術開発センター
地盤研究室長

小山幸則
立命館大学総合科学技術研究機構客員教授

今田徹
東京都立大学名誉教授

高橋良文
東京都下水道サービス株式会社専務取締役

濱建介
株式会社ANET取締役

三浦克
株式会社竹中土木常務執行役員

〔委員〕

大津敏郎
株式会社高速道路総合技術研究所道路研究部
トンネル専門主幹

亀山勝
東京地下鉄株式会社鉄道本部鉄道統括部
移動円滑化設備推進担当課長

坂口淳一
東京都交通局建設工務部計画改良課長

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

清水満
東日本旅客鉄道株式会社建設工事部兼設備部
構造技術センター次長

高田武
東京都水道局建設部工務課長

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

真下英人
独立行政法人土木研究所
道路技術研究グループ長

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

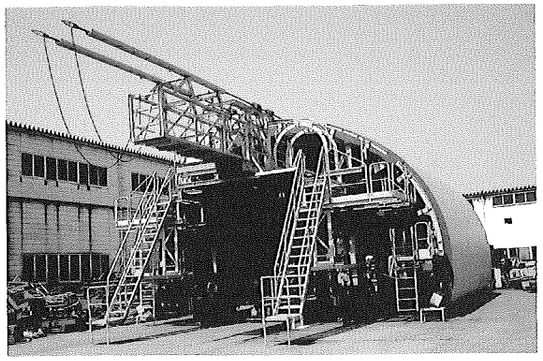
柳雄
東京都下水道局建設部設計調整課長

要求性能を満たす
覆工コンクリートの品質向上技術

鉄筋区間併用タイプ

天端引抜バイブレータ装置

NETIS 登録 No.HR-080001-V

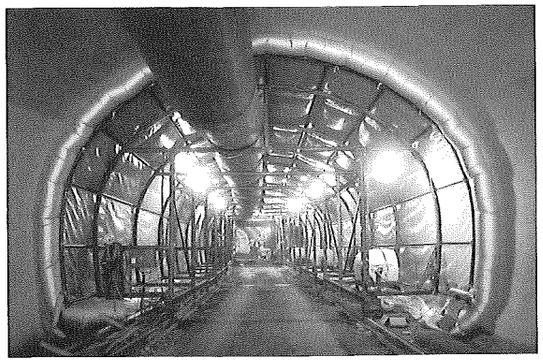


期待される効果・特徴

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

コンクリート湿潤養生システム

NETIS 登録 No.CG-080012-A (製造：株式会社マシノ)



期待される効果・特徴

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

北陸鋼産株式会社

(旧社名　株式会社 佐賀)

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

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

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

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

トンネルと地下　VOL. 44　No. 9　掲載概要

掲載頁 7

双設シールドの間に矩形PCウェル工法でEVシャフト35mを築造
—東京メトロ千代田線　新御茶ノ水駅—

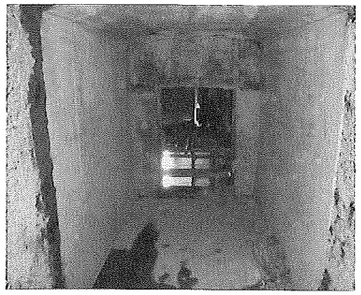
東京地下鉄(株)　柳迫　久

地下駅舎のバリアフリー化を目的として，エレベーターシャフトを矩形PCウェル工法にて施工した．営業線シールドトンネルに近接(離隔1.5m)し，かつ，地下約35mの大深度で軟弱な粘性土の掘削という条件であったことに加えて，ブロックの形状が矩形であった．これらのことから，製作精度を確保し，姿勢監視システムを用いた圧入管理とウォータージェットを用いた周面摩擦の低減により圧入掘削を行い，鉛直精度 1/400以内を達成することができた．また，近接部の圧入は営業線運行停止時間に行い，シールド変位を計測しながら施工した結果，シールドへの影響はほとんどなく施工することができた．PCウェル施工後，地盤改良とBH杭による土留め壁を併用して横坑掘削を行い，既存駅舎との接合を行った．

Underground 35 m Elevator Shaft between Twin Shield Tubes with the Rectangular PC Well Technique—Tokyo Metro Chiyoda Line Shin-Ochanomizu Station—

By Hisashi Yanagisako, Tokyo Metro Co., Ltd

With the aim of making underground station facilities universally accessible, an elevator shaft was constructed using the rectangular PC well technique. This work had the conditions that it was adjacent (1.5 m destance) to a shield tunnels in service, it dug weak cohesive ground soil to a depth of approx. 35m and the shaft shape was rectangular. We ensured accuracy of blocks for shaft, controlled jacking process using balance monitoring systems and reduced skin friction using water jets in order to achieve vertical accuracy within 1/400. In addition, works of jacking shaft in adjacent to tubes was conducted with measuring tubes displacement during lines in out of operation and it was possible to construct with almost no effect on the tubes. After shaft working, ground improvement and a retaining wall with BH piles were jointly used for works of adit to connect with the existing station.



写真は横坑構築完了状況

掲載頁 17

トンネル掘削に伴う地下水流動対策検討
—新名神高速道路　箕面トンネル—

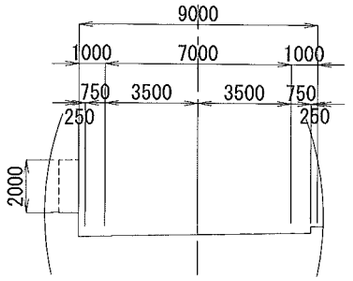
西日本高速道路(株)　伊藤　哲男

新名神高速道路建設事業のうち新名神大阪西事務所が担当する区間は，路線の約55%がトンネル構造である．トンネル構造は地表部の改変を伴わない一方で，周辺地域の利水に影響を及ぼすことが懸念される．このため，トンネル施工前後における地下水流動をマクロ的に予測し，影響が想定される注意箇所の抽出，対策などについて検討を行った．箕面トンネル(仮称)で行った解析では，小土かぶりで断層破砕帯の集中する河川交差部において比較的多くのトンネル湧水の発生が予測されたため，その区間を完成時非排水構造トンネルとして設計した．今後，先進ボーリングなどにより前方の地質状況などを確認しながら施工を行っていく計画である．本稿は，箕面トンネルの検討内容を中心に報告するものである．

Groundwater Flow Countermeasures Involved in Tunnel Excavation—Shin-Meishin Expressway Mino-o Tunnel—

By Tetsuo Ito, West Nippon Expressway Company Limited

In the section of the Shin-Meishin Expressway where the Shin-Meishin Osaka-nishi Office is responsible for, tunnels constitute 55 % of total. Tunnels will not transform ground surface but there was concern about the effects on irrigation in their surrounding area. For this reason, we estimated macroscopic groundwater flow before and after tunnel construction, pinpointed areas which were predicted to be affected and examined ways to prepare. In analysis conducted for the Mino-o Tunnel (temporary name), as it is estimated that a comparatively large water inflow during tunneling in sections that intersect rivers with concentrated fault fracture zones under small cover, this section was designed as a water proof tunnel at completion. We have the plan to construct tunnel while confirming upcoming geological condition with advance boring, etc. This report focuses on the details of the examination of Mino-o Tunnel.



図は箕面トンネル標準断面図

掲載頁 27

SPR工法の開発と実用化の経緯

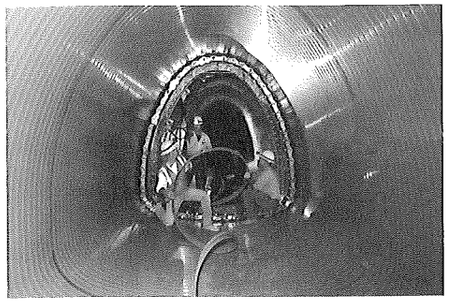
積水化学工業(株)　高見　浩三

社会インフラの老朽化が進みトラブルも生じつつある．とくに下水道管路は多くが道路下に埋設され，その老朽化が道路陥没などの原因になっている．しかし下水の供用を遮断し，都市部道路を掘削して新管に入れ替えることは非常に困難である．それらの問題を解決するため著者らはいち早く取り組み，管路の内部に塩ビ樹脂製の帯状体で螺旋に巻回し，間隙に特殊モルタルを注入して既設管と一体化させ，新管と同等以上の性能に復元するSPR工法を開発した．本工法は画期的な材料，機材，施工法などの開発により下水供用中かつ完全な非開削の施工を実現した．また開発後も絶え間ない技術改良を加え，現在では日本国内はもとより海外でも採用実績が増えてきている．本技術の開発経緯や技術について紹介する．

Development and Practical Application of the SPR Technique

By Kozo Takami, Sekisui Chemical Co., Ltd.

Problems increses with social infrastructure getting older. In particular, many sewage pipelines are buried under roads and their deterioration is the cause of road collapse. However, it is extremely difficult to isolate in-service sewage pipes, cut roads in urban areas and replace with new pipes. In order to solve these problems, the authors promptly engaged, and developed the SPR method which restores the performance of pipes to the equivalent or more of that of new pipes. Working of it is to wrap a belt of vinyl chloride in a spiral inside the pipeline and grout special mortar into its gaps and unite with existing pipes. SPR method implements complete no-dig construction on in-service sewage pipes through the development of ground-breaking materials, machinery and techniques, etc. Further, in addition to incessant technological improvement after development, adoption of this are currently increasing both in Japan and overseas. This report introduces the development and the technology.



写真は米国ロサンゼルスでのSPR工法の施工状況

掲載頁 47

土圧式シールド工法の掘削土砂に関する調査結果

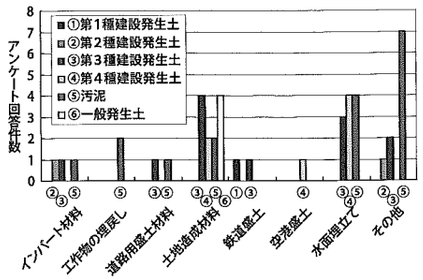
首都高速道路(株)　並川　賢治

近年，大断面の道路トンネルでは，土圧式シールド工法が多く採用されるようになってきている．これは泥土圧による切羽の安定性向上とシールド機械・設備ならびに施工管理技術の向上によるものといえる．本工法は，大規模な設備用地を必要としない利点を有する反面，泥土化した土砂の搬送・処分のための改質剤使用による工事工程やコストなどに及ぼす影響が課題となっている．このため，土圧式シールド工事の円滑な計画立案やコスト縮減に資する資料の作成を目的とし，日本トンネル技術協会に業務を発注した．協会では学識経験者，施工会社，首都高速道路で構成される掘削土砂処理特別委員会を設け，掘削土砂の観点から国内外の土圧式シールド工事における最新技術の収集・分析を行った．本稿では，このうち国内の結果について報告するものである．

Study of Muck from the EPB shield TBM

By Kenji Namikawa, Metropolitan Expressway Co., Ltd

In recent years, many large cross-section road tunnels have built with the shield TBM. This can be said to be due to improvements in face stabilizing technique with earth pressure and improvements in shield machines/equipment as well as construction control technique. This method, on the one hand, has the advantage of not requiring large-scale site for facilities, but also remains the challenge of affecting construction schedules and costs through the use of reformer in order to transport and dispose of muck. For this reason, with the aim to prepare materials that contribute a smooth planmning and cost reduction for shield tunnelling works, we commissioned the Japan Tunnelling Association for this. The Association set up a Muck Treatment Special Committee composed of experts, construction companies and Metropolitan Expressway which compiled and analysed the latest information on shield tunnelling in Japan and overseas from the point of view of muck. This report gives information on the domestic results from this Committee.



図は土圧式シールド掘削土砂のうち場外搬出土砂の再利用の用途

掲載頁 57

トンネル建設が地すべり挙動に及ぼす影響に関する実験的研究

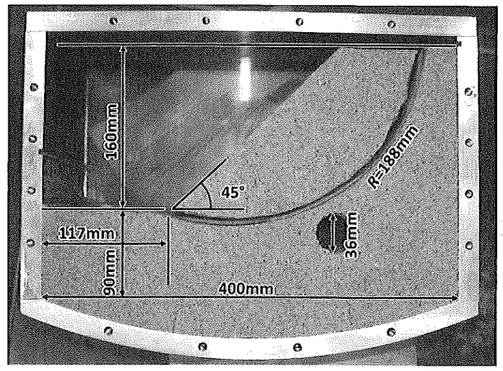
近畿大学　久武　勝保

本研究は既存地すべり層の近辺にトンネルを建設する場合について，地すべりが誘発される現象を遠心模型実験により明らかにすることを目的としている．トンネルが存在しない場合，およびトンネルと地すべり層の間の離隔距離が異なる場合について5ケースの実験を行い，地すべり発生時の遠心加速度の値，および，地すべり発生前後の変位ベクトルとせん断ひずみの発達状況を分析することによって，地すべり挙動に及ぼすトンネル建設の影響を明らかにした．

Experimental Study of the Tunnelling Effects on Landslide Behaviour

By Masayasu Hisatake, Kinki University

This study aims to clarify the phenomenon of induced landslides by tunnelling works in nearbuy existing sliding surface with centrifuge model experiments. we conducted five experiments where no tunnel or varied distance between the tunnel and the sliding surface. We discovered the effects of tunnel working on landslide behaviour by analyzing the centrifuge acceleration at the time of landslide occurrence and the state of development of displacement vectors and shearing strain before and after the landslide occurrence.



写真は遠心裁荷試験に用いた模型地盤の幾何形状

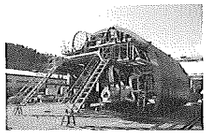
管理しながらコンクリートを育てる

NETIS登録No.CB-120032-A

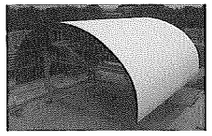
コンクリートトータル養生システム



加温しながら初期強度を上げる
加温養生（型枠）



加温と湿潤を同時に行い品質向上
加温・湿潤養生



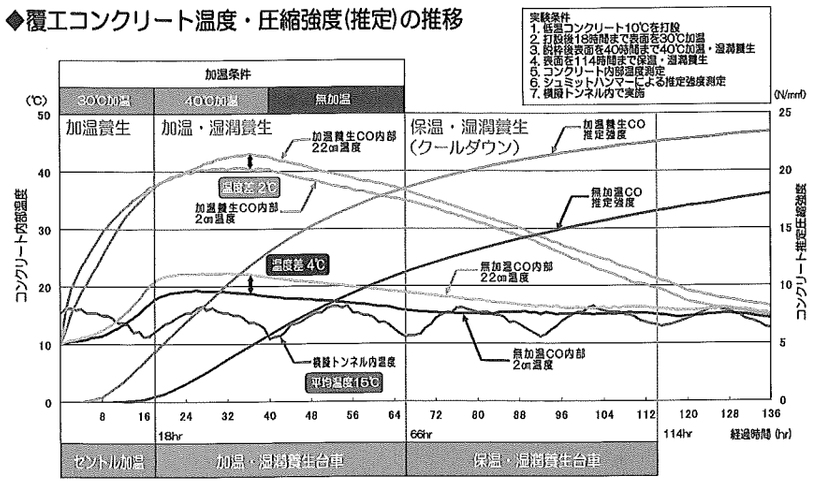
保温湿潤しながら急激な変化を防ぐ
保温・湿潤養生



コンクリートの強度を予測管理
養生管理システム

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

◆覆工コンクリート温度・圧縮強度(推定)の推移



岐阜工業株式会社

本社 岐阜県本巣市十四条 144 番地
TEL 058-323-2001 FAX 058-323-1176
URL http://www.gifukogyo.co.jp/

東京支店 TEL 03-5836-0531
仙台営業所 TEL 022-259-2239
九州営業所 TEL 092-918-3880

【製作・販売協力】
テクノプロ株式会社
株式会社 東宏

巻頭言
（題字　佐藤信彦会長）



ダム建設とトンネル工事

（独）水資源機構ダム事業部長
進藤裕之

水資源機構はわが国の主要な７つの水系（利根川，荒川，豊川，木曽川，淀川，吉野川，筑後川）おいて，ダムや用水路などを建設し管理を行っています．機構の建設するダムの多くは大規模な多目的ダムであり，洪水の防除，河川環境の維持，各種用水（水道用水，工業用水および農業用水）の供給，発電など多くの役割を果たしています．

昭和55年の入社以来33年の中で，本社勤務，現場勤務を通じ，その多くの期間をダム建設事業の仕事に携わってきました．ダム建設は土木の総合技術とも言われていますが，トンネル工事とのかかわりも非常に深いものがあります．

一般の方は「ダムの建設」といえば巨大なダム本体工事を連想されると思いますが，実のところ，本体工事に要する時間は５年程度に過ぎず，その前段階として準備工事を行う期間のほうがはるかに長いことが通例です．準備工事の中でも，貯水池内の道路水没に伴う付替道路やダム本体工事の資機材運搬のための工事用道路など，道路の建設には多くの時間を要します．

これらの道路は山間部に建設するため，道路線形の関係上，必ずと言ってよいほどトンネル区間が存在することになります．また，近年では，希少猛禽類などの環境対策の面から積極的にトンネルを採用する場合もあります．付替道路は貯水池よりも高い位置で山の中腹部に建設することから施工条件は厳しくなります．トンネル工事現場へのアクセスの確保，掘削ずりの搬出など，トンネル掘削だけではない，施工計画面での高い技術力が求められます．

ダム建設では，道路トンネルだけでなく，水路トンネルも必要不可欠です．川に水が流れている状態ではダム工事はできないので川の水を迂回させなければなりませんが，ほとんどのダムでは，そのための仮排水路トンネルを建設することとなります．仮排水路トンネルの長さはダムの形式や規模により異なりますが，長いものでは１kmを超え

るものもあります．現在，機構が建設事業を進めている小石原川ダム(筑後川水系)の仮排水路トンネルの延長は約1.4kmで，本年度の着工を予定しています．

近隣の河川から水を導水する間接流域をもつダムの場合には，導水のためのトンネルが必要となります．小石原川ダムも間接流域を有しており，延長約５kmの導水トンネルの建設を計画しています．

このほか，貯水池の水をダムの下流に放流する管路を敷設するためにトンネルを掘削する場合もありますし，ダム工事に特徴的なものではリムトンネルという小断面のトンネルもあります．ダムの基礎からの透水量を制御するためグラウチングを行いますが，ダム左右岸のグラウチングを行うためにリムトンネルが必要となります．

ダム建設にとってトンネルは必要不可欠な構造物ですが，ダムを建設する者としてトンネル技術に期待することとしては，やはり，「より早く，より安く」ということになります．仮排水路トンネルをはじめとして，トンネル工事がダム建設事業全体の工程計画上のクリティカルパスとなる場合が多くあります．トンネル工事の工期が短縮できれば，それだけ，早くダム工事に着工できるのでメリットは大きなものがあります．また，ダム建設では多くのトンネルを掘削することから，ダムによって割合は異なるものの，事業全体の費用の中に占めるトンネル工事に要する費用はかなりの額にのぼります．以前４年間勤務した現場では，この４年間だけで道路トンネル，水路トンネルを合わせて４本，総延長29kmのトンネル工事を行いましたが，その総額は43億円にのぼりました．十分な品質と施工の安全性を確保したうえで，いかに安く早くトンネルを建設するかは，事業全体の工程短縮，コスト縮減に大きく影響します．

現在，私たちが大変に期待しているトンネル技術のひとつは，高地下水圧下においても止水性を確保できるトンネル掘削技術です．地下水や沢水が利用されている地域の地下深くにトンネルを掘削する場合があり，トンネル掘削により地下水を低下させてしまうと，これらの水利用に支障を生じてしまいます．これを回避するために，止水性を保ちできるだけ地下水位を低下させないトンネル掘削技術が望まれます．

ダム建設の立場から，ダム建設とトンネルとのかかわり，今後のトンネル技術への期待について述べさせていただきました．トンネル掘進のスピードアップ，コスト縮減，止水性を確保した掘進技術など，トンネル技術の更なる発展を期待しています．

施工

双設シールドの間に矩形PCウェル工法でEVシャフト35mを築造

—東京メトロ千代田線　新御茶ノ水駅—

東京地下鉄(株)鉄道本部改良建設部第一工事事務所技術課長　柳迫　久
東京地下鉄(株)鉄道本部改良建設部第一工事事務所　眞弓恵佑
大成建設(株)東京支店神田駿河台作業所　立石健二
大成建設(株)東京支店神田駿河台作業所　戸田雅明

1　はじめに

東京メトロではお客様の視点に立った質の高い「サービス」の提供のため，鉄道機能の強化に取組んでおり，列車安定運行確保のための輸送改善工事，バリアフリー設備整備工事などの改良工事を各駅において実施している．

千代田線新御茶ノ水駅はJR御茶ノ水駅との乗換え駅で，１日平均約88,000人のお客様にご利用いただいており，今回２か所ある改札口のうち，JR線との乗換えルートである綾瀬方の改札口にエレベーター設備を設置することにした(代々木上原方の改札口はエレベーターを整備済み)．

今回の工事は，既設構築の脇にエレベーターシャフトを築造し，横坑掘削にて既設構築と接続するものであるが，掘削深さがGL－35.5mと非常に深く，営業線単線シールドトンネル(以下，「営業線シールド」という)の間に築造するという厳しい施工条件となっている．

本稿は，エレベーターシャフトおよび横坑掘削の工法選定と施工結果について報告する．

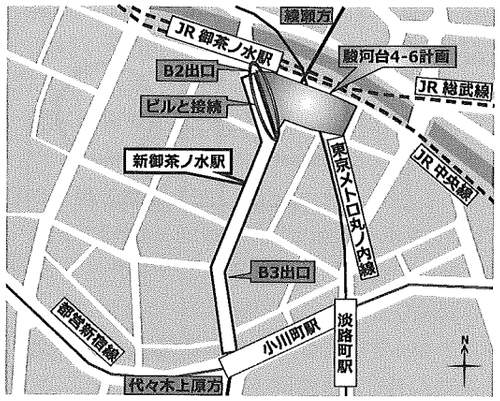


図-1　千代田線新御茶ノ水駅位置図

2　工事概要

千代田線新御茶ノ水駅は，単線シールドトンネル２本を切拡げ接続した１面２線構造のシールド駅となっており，改札口は建設時のシールド発進・到達立坑を利用して設けているため，駅両端に設置されている．今回エレベーターを設置する綾瀬方の改札口はもっとも高台に位置していることから，ホーム高さ(GL－32.8m)まで約29.6mのエレベーターシャフトを築造する必要があるが，既設構築内にエレベーターシャフトを設置することはスペースの関係から困難であったため，既設構築の外側にエレベーターシャフトを築造し，横坑に

て接続する工法を採用した．

図-2, 3にエレベーターシャフト計画図を示す．

3　エレベーターシャフトの施工

3-1　土質条件

図-4に土質柱状図を示す．地表から約10mまでがローム層および凝灰質粘土層で，その下部に4m程度の砂礫層（N＝10～25），20m程度のシルト質粘土層が堆積しており，その下部に4～5m程度の砂・砂礫層（N≧50）がある．

地下水位は，自然水がGL－11m付近であり，営業線シールド下部に位置する洪積砂礫層の水位はGL－25m程度である．

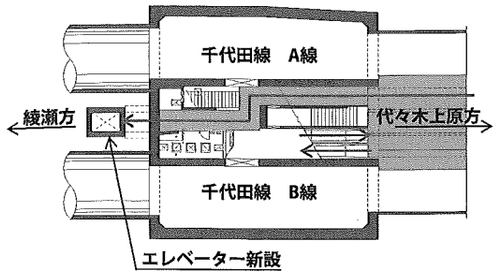


図-2　エレベーターシャフト計画平面図

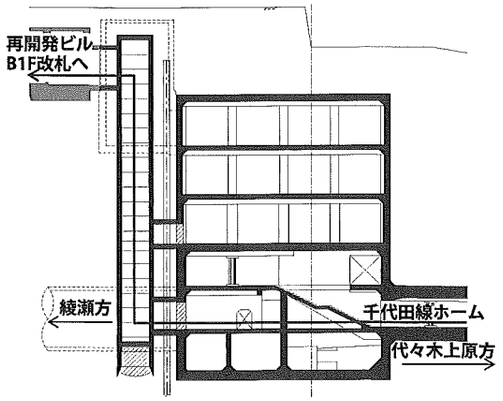


図-3　エレベーターシャフト計画断面図

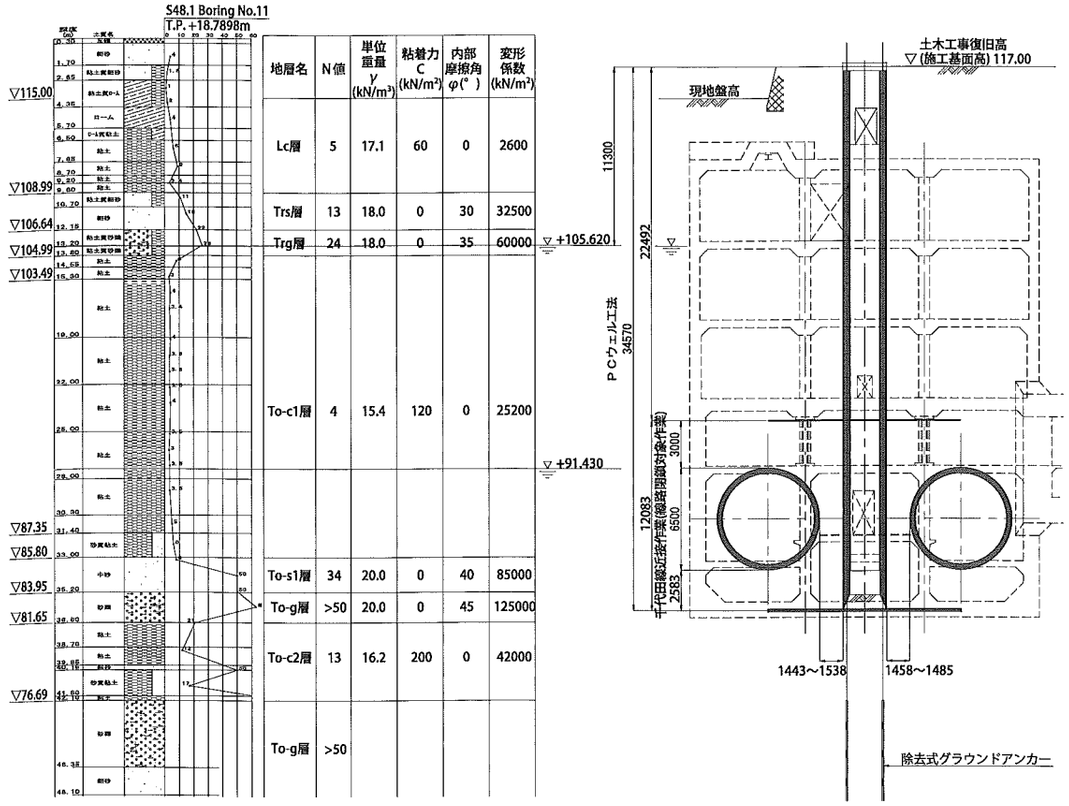


図-4　土質およびエレベーターシャフト位置図

3-2　工法の選定

エレベーターシャフトと既設構築および営業線シールドとの位置関係は図-4に示すとおりであり，施工条件は以下のとおりであった．

① 営業線シールドとの離隔が約1.5mである．
② 大深度（約35m）の掘削が必要である．
③ 地下水位以下の掘削が必要である．
④ エレベーター設備を設置するため，鉛直精度は1/400以下が求められる．

このため，深礎工法などと比較し，地下水以下の大深度にも対応可能であり，かつ，余掘りが少なく周辺への影響が少ないPCウェル工法を採用した．

PCウェル工法とは，圧入ロットを施工地点でポストテンション方式を用いたプレストレスを導入しながら積み重ね，内部をハンマーグラブなどの各種掘削機械により掘削し，グラウンドアンカーなどを反力として所定深度まで圧入沈設する工法である．

特徴は，圧入ロットは工場製作のプレキャスト部材であるため品質が信頼できること，深礎工法に比べ余掘りが少ないため周辺地盤への影響が非常に少なく，近接施工に適していること，水中掘削が可能なため地盤改良を必要としないことなどである．

今回のPCウェルの構造を図-5に示す．

形状：外形　3.65m×2.80m
　　内形　2.71m×1.86m
全長：L＝34.8m
部材：刃口付きRCロット（H＝2.5m）×1個
　　RCロット（H＝1.3m，1.5m）×13個
　　鋼製ロット（H＝1.0m，1.5m）×9個
　　上床版（H＝0.5m）×1個

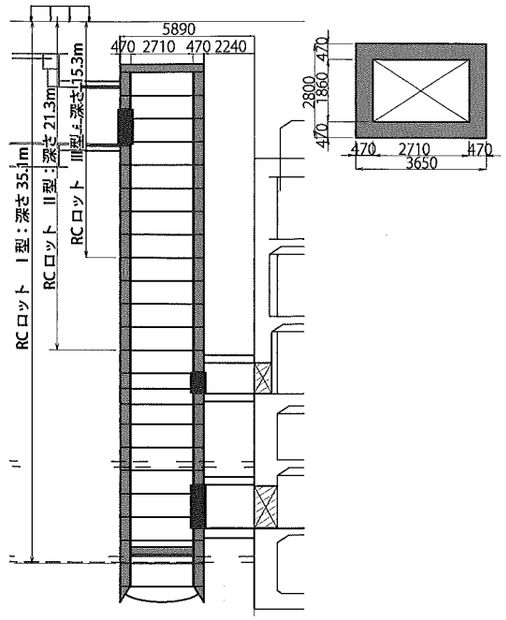


図-5　PCウェル構造図

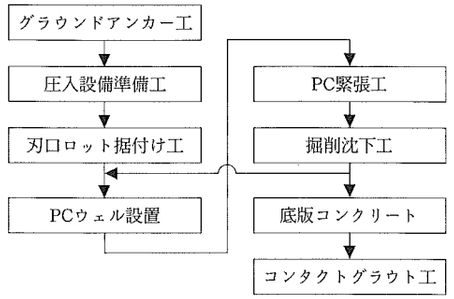


図-6　PCウェル施工フロー

3-3　施工概要

図-6にPCウェル工の施工フローを示す．まず，PCウェルの圧入時の反力としてグラウンドアンカーを打設する．工場製作したRCおよび鋼製ロットを設置し，PC鋼棒により緊張して一体化させたあと，PCウェル内部の掘削および圧入作業を行う．これをくり返して所定の位置まで圧入させる．また，地下水位より以深の掘削は，掘削底面からの地下水などの流入を防止するため，エレベーターシャフト内に水を張り，自然水位とのバランスを取りながら水中掘削にて施工した．

3-4　PCウェルの精度確保

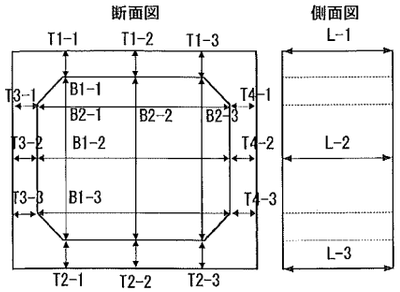
精度確保のためには，施工段階に応じて，①RCおよび鋼製ロットの製作精度の確保，②ロット組立ての精度確保，③圧入時の精度管理，が必要である．今回工事においては，以下に示す方法により精度を確保した．

（1） 製作精度

RCロットおよび鋼製ロットの製作精度につい

表-1　RCロットの寸法規格値

測定箇所	規格値(mm)	許容範囲(mm)
幅1 (B1)	2,710	3, −2
幅2 (B2)	1,860	+3, −2
厚さ(T1)	470	+3, −0
〃 (T2)	470	+3, −0
〃 (T3)	470	+3, −0
〃 (T4)	470	+3, −0
高さ(L)	1,500(1,300)	±1



ては，シールド工事用セグメント製作の寸法規格値に準じて表-1のように設定した．

（2）　組立て精度

ロット組立て時にはレベル測定により平面性および傾斜を確認した．圧入時のロットの欠けなどを防止するため，レベル測定は，ロット設置前，設置後およびPC鋼棒の緊張後に隅角部4点を測定し，確認したあとに圧入を行った．

（3）　圧入精度

圧入に際しては図-7に示す姿勢監視システムを用いて精度管理を行った．これは，ブロック天端に取付けた傾斜計により傾斜量を確認しながら，水平方向と鉛直方向のジャッキ操作により傾斜修正を行うものである．ロットの圧入時には，仕上がり鉛直精度1/400から逆算し，隅角部4点の最大高低差が3.5㎜以下となるように管理した．

以上の施工管理により，鉛直精度は約1/405を確保できた．

3-5　矩形圧入における周面摩擦の影響

PCウェル工法は圧入反力がグラウンドアンカーであるが，その反力は式(1)による必要圧入力をもとに計算されている．

$$P=0.5\times F+Q_d-W_{pc} \qquad (1)$$

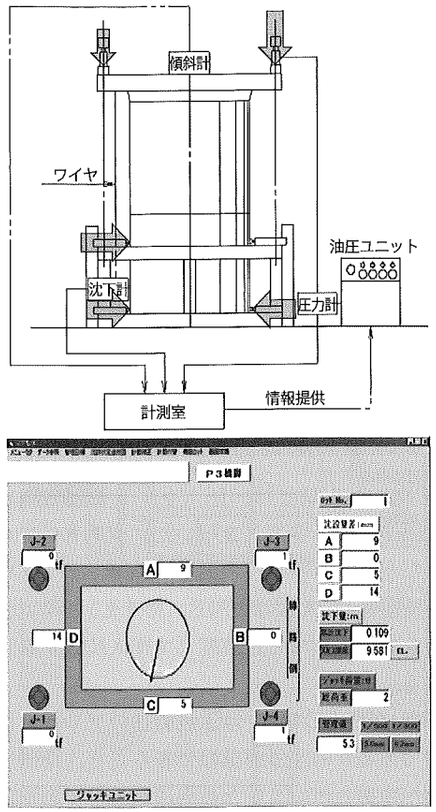


図-7　圧入姿勢監視システム

ここに，

P　：PCウェルの必要圧入力

F　：PCウェルの周面摩擦力

Q_d　：PCウェルの先端抵抗力

W_{dc}：PCウェルの重量

エレベーターシャフトの形状が矩形であったため，上式を用いた圧入反力の算定には懸念もあった．しかし，このようなPCウェル工法は国内で施工実績がなかったため，上式をもとに必要圧入力値を算定し，グラウンドアンカーの仕様を決定した．今回の最大圧入力は，P=3,162kNであり，この値をもとに，反力グラウンドアンカーφ165×4本を決定した．

圧入は，当初から想定圧入力を超えていたが，GL−30m程度のシールド高さ付近まで来たところ，圧入不能の現象が発生した．圧入不能に推定される原因としては以下の事項が考えられた．

①　鋼製刃口先端における障害物の存在

②　鋼製刃口隅角部に付着した土べらの圧入抵抗

③　刃口先端付近の砂層による圧入抵抗

④　周面摩擦力の低減不足

⑤　刃口付近外側の砂層による周面摩擦力

推定される上記原因に対する対策として，まず，潜水士により刃口先端に障害物がないことを確認し，土べらの撤去を行った(上記①，②に対応)．次に，刃先の下部を機械および潜水士にて先掘りを行った(③に対応)．

さらに，④，⑤に示す周面摩擦低減に対応するために，PCウェル側面に，刃先付近までジェット管を建込み，滑材を注入した．

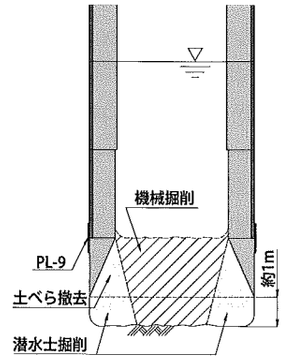


図-8　刃口部土べら撤去および先掘り概要図

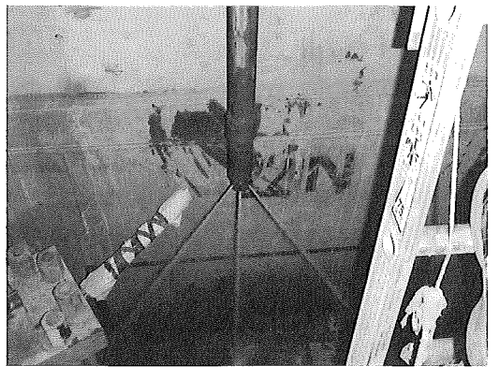


写真-1　先端3方向ノズル写真

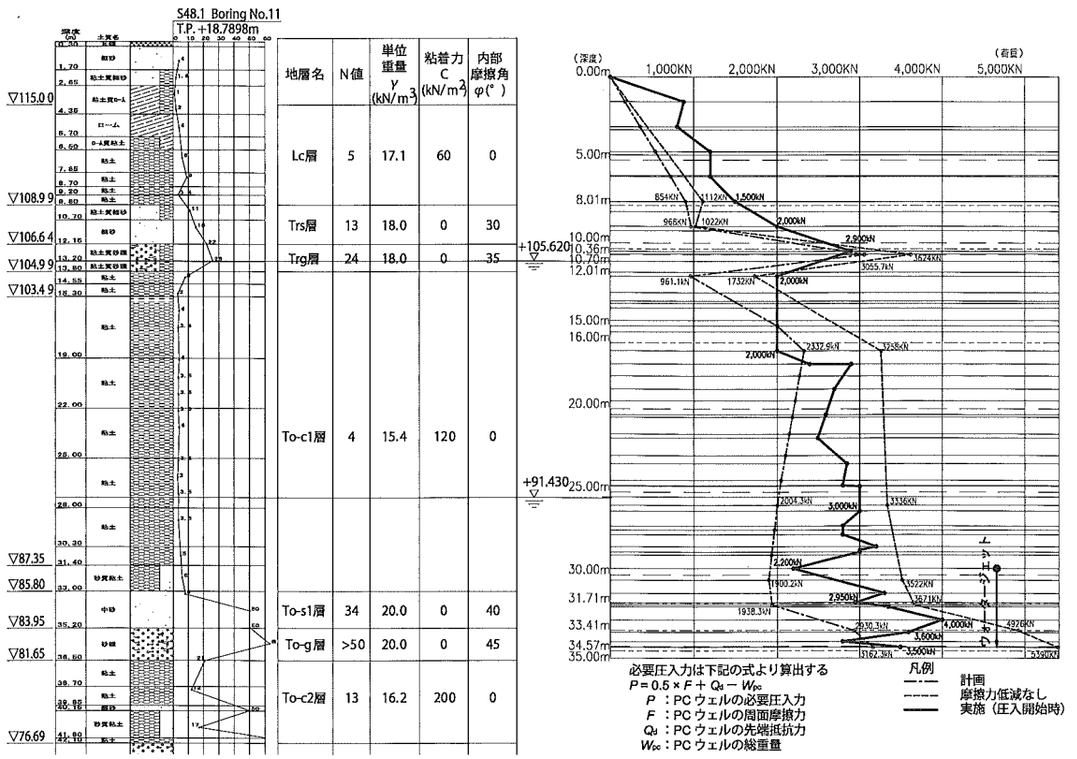


図-9　沈下関係図

まず，3方向噴射型の先端ノズルを使用したジェット管を，短辺側1か所，長辺側2か所の計6か所にて刃口先端部まで打込み，クレーンにて引き上げながら滑材を噴射させた．また，GL－10m付近の砂礫層が緩み，締付け力が大きくなっていることも推定されたため，この砂礫層付近にて滑材を噴射させながら上下して，周面摩擦を低減する効果を向上させた．その結果，最大圧入力4,000 kNで沈下することができた．

また，滑材はウォータージェットで使用した推進などで実績のあるものを使用した．

PCウェルの沈下関係図(必要圧入力)の計画と実績を図-9に示す．掘削の当初から，実績値の方が従来の算定式による必要圧入力より大きかった．図中の破線は周面摩擦力の低減を行わなかった場合の曲線であるが，圧入初期段階では，実績値との差は大きいものの，30m程度までの圧入では実績値よりも大きな値となっている．

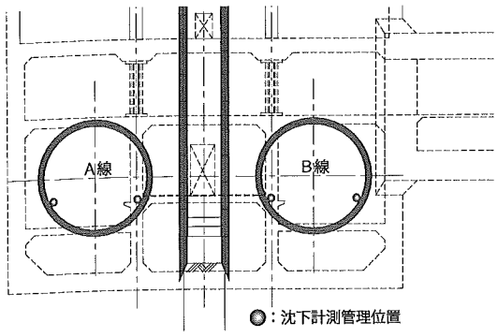


図-10　計測位置図

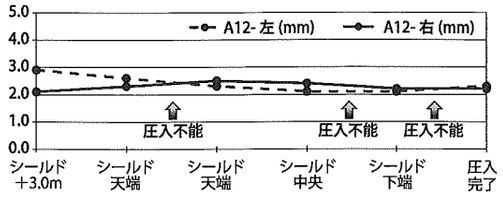


図-11　計測管理状況

3-6　営業線シールドへの影響と計測結果

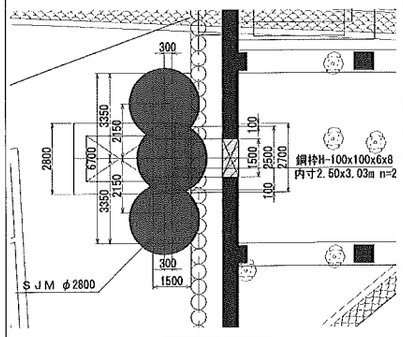
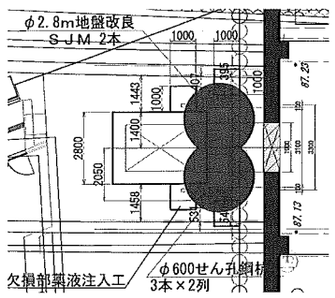
PCウェルと営業線シールドの最小離隔が約1.5 mしかなかったため，圧入時の営業線シールドへの影響を考慮して，営業線シールド天端レベルから3.0mの高さより以深の圧入は，営業線運行停止時間(25：00～28：00)内の作業とした．同時に，圧入時にはシールドトンネル内に監視員を配置するとともに，計測器を設置しシールドトンネルの変状の計測管理を行った．

計測はシールドトンネルの内空変位およびレールレベルを手動計測とし，鉛直変位は水盛式沈下計を用いた自動計測を行い，地上部にて常時データを監視しながら圧入を実施した．

図-10, 11に計測位置図と直近の営業線シールド天端＋3.0m位置から圧入完了までの間の営業線シールドの鉛直変位を示す．

営業線シールドの鉛直変位は最大で2 ㎜程度の変状が発生した．これは，圧入不能の現象が発生し，対策としてウォータージェットなどを採用していた期間に発生したもので，圧入中のシールドへの影響はほとんどなかったと考えられる．

表-2　横坑掘削工法比較表

工　法	高圧噴射地盤改良(SJ-M工法)	BH杭＋二重管ダブルパッカー工法＋SJ-M工法
概　要	高圧噴射地盤改良により改良体を造成し，その内部を支保工を設置しながら掘削する方法．	横坑掘削の側面土留めとしてBH杭(φ600)を打設し，上部土留めならびに底部揚圧力対策として高圧噴射改良を行う．
		
施工中の漏水箇所および坑内への影響	超高圧噴流水で地盤を切削する工法のため，出水および坑内への逸泥の危険が高い．改良後の強度が高く，止水性も高いが，漏水箇所への影響が懸念される．	BH杭は掘削後にモルタルを充填して杭を築造する工法で，削孔圧が地盤中にこもらないので影響は少ない．また，崩落防止の高圧噴射杭については，BH杭締切り内での施工とすることで周辺影響は低減できる．
判　定	○	◎

4　横坑の構築

4-1　工法の選定

今回構築する横坑は，GL－30mと大深度であり，かつ，営業線シールドとの離隔が1.2mと近接していること，さらに，対象土層が$N=2\sim4$軟弱な粘性土層であること，当該シールドトンネルが1969年竣工の構造物で，一部漏水を導水工により処理していることなどの条件のもと，営業線シールドへ悪影響を及ぼさない横坑掘削の方法を検討した．工法比較表を表-2に示す．

営業線シールドへの影響は，地盤改良時の固化材の噴射圧力による変状あるいは漏水量の増大などと考えられたため，横坑掘削の側面土留めとしてBH杭(φ600)を打設し，上部土留めならびに底部揚圧力対策として高圧噴射改良を採用した．

4-2　施工状況

土留めBH杭の仕様はφ＝600，L＝34.0mである．通常BH杭は1/100程度の精度であるが，営業線シールドとの離隔が394㎜しかなかったために，リングビットやウェイトを装備して削孔速度を落として施工した．

シールドトンネル天端まで削孔後，安定液に置換して超音波測定器により鉛直精度を測定した．孔壁測定の結果は，1/230程度であり，シールドトンネルおよびPCウェルに支障しないことを確認したのち，夜間の営業線運行停止時間内で所定位置まで削孔を行った．杭の鉛直精度は横坑施工時の実測値より，1/150～1/200を確保することができた．

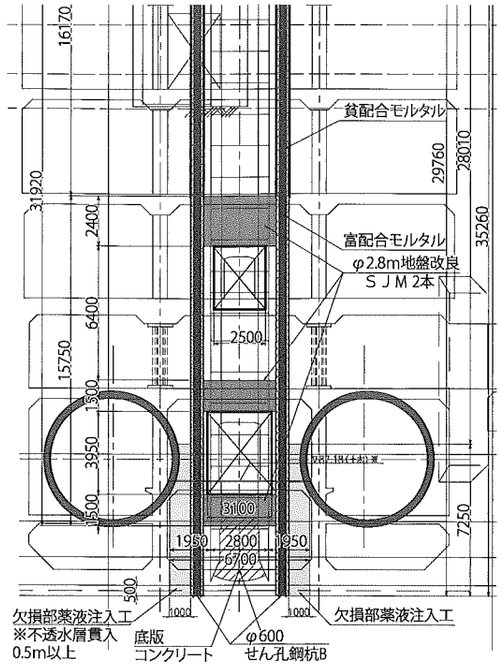


図-12　地盤改良範囲図

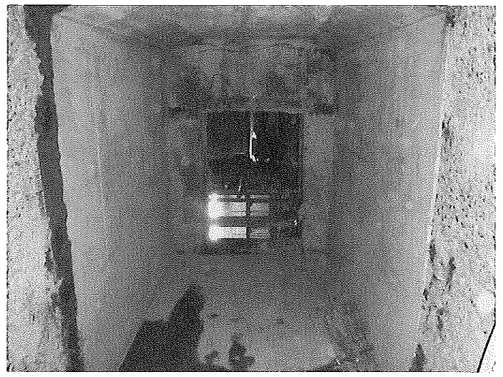


写真-2　横坑構築完了写真

地盤改良の施工範囲を図-12に示す．改良工法は高圧噴射攪拌工法(SJ-M工法)を採用したが，施工時の営業線シールドの変状・漏水などは全くなく，先行土留め壁(BH杭)の効果が確認された．横坑掘削時の土かぶり自重および底面からの揚圧力に対しては，改良体と土留め壁の摩擦力で十分抵抗でき，掘削時に伴う漏水もなく掘削することができた．

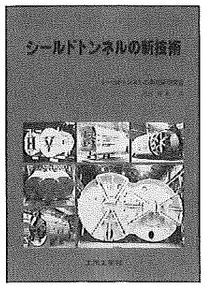
内部構築完了写真を写真-2に示す．

5 おわりに

駅のバリアフリー化に伴いエレベーターシャフトを設置する場合，本事例のように営業線シールドの間に設置するケースは今後も考えられる．今回のような矩形のPCウェルは過去に例がなかったが，大深度・高水圧下でも，施工精度を確保し営業線シールドへの影響を小さく施工できたことで，同工法の適用性が確認されたと考えられる．

また，既設駅舎との接続に関しても，営業線シールドへの悪影響を及ぼさない工法として，土留めBH杭と地盤改良を併用した横坑掘削の有効性が確認された．

今後の同様な条件下での工事の参考になれば幸いである．



シールドトンネルの新技術

シールドトンネルの新技術研究会編　代表　鈴木　　章

B５判 285頁　本体価格4,660円　〒340円

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

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

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

現場だより　トンネルと地下 2013

「縄文の里」八戸より

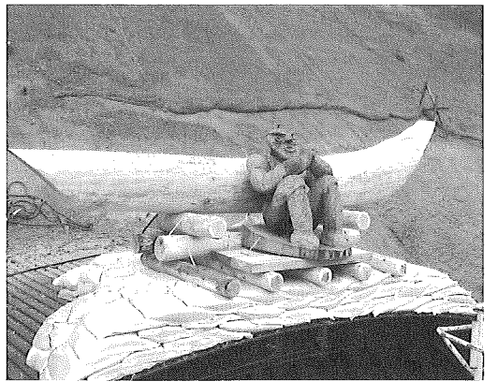
伊藤毅浩

八戸市は，太平洋を望む青森県東南部に位置し，臨海部には大規模な工業港，漁港，商業港が整備されている．八戸漁港は日本一のイカの水揚げを誇るほか，その背後には工業地帯が形成され，優れた漁港施設や背後施設を有する全国屈指の水産都市であり，北東北随一の工業都市でもある．また，伝統芸能である「えんぶり」および「八戸三社大祭」「騎馬打毬」がともに国の重要無形民俗文化財に指定されているのに加え，八戸市は遺跡の宝庫であり，現在約480か所が確認されている．その８割が縄文時代の遺跡で，なかでも，当現場の近くに位置する是川遺跡は，新井田川の河口から約７km上流の川沿いに広がる遺跡で，国宝「合掌土偶」(縄文時代晩期)が出土している．合掌土偶は天を仰ぎ，一心不乱に力の限り深く祈る様子が印象強く，その祈りは今日的な豊穣祈願や安産祈願と考えられている．約3,000年前から信仰する風習があったと想像される．青森市の三内丸山遺跡と一緒に世界遺産登録の候補として名前が挙がっている．

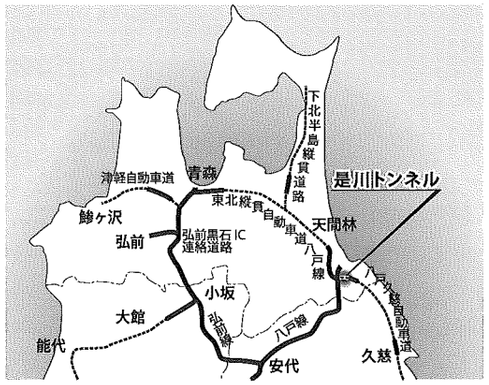
さて，三陸沿岸道路「八戸南環状道路」は，三陸沿岸道路(計画延長359km)のうち，八戸市大字根城字笹原(八戸JCT)から八戸市大字妙字大開(八戸南IC)を結ぶ延長8.6kmの一般国道45号自動車専用道路である．八戸市街地を通る国道45号の交通混雑緩和や階上町方面から東北縦貫自動車道八戸ICや新幹線八戸駅までの所要時間短縮のほか，緊急医療体制の強化，広域観光ルートの形成など，地域産業の活性化や地域振興などの面で多大な効果をもたらすものとして大きな期待を寄せられている．復興道路として早期の供用開始が望まれているなか，当工事は，八戸南環状道路で唯一のトンネル工事となっている．



国宝「合掌土偶」



いのるん全景



位　置　図

是川トンネルは延長973mの機械掘削によるトンネルで，2012年６月に掘削を開始した．安全祈願祭のさい，化粧木と一緒に木彫りで作った合掌土偶(愛称「いのるん」)を坑口に祀り，２人の女神にトンネル掘削の安全を見守られながら，10か月で掘削を完了した．工事は，覆工コンクリートと中央排水工，坑門工を残すのみとなったが，現在まで無事故・無災害を継続してきた．今後も，作業所職員，協力会社作業員一体となって，竣工を目指して努力していく所存である．

(前田建設工業(株)是川トンネル作業所所長)

土木情報 No.483 今月の主な入札結果

（7月10日～8月9日）

事業主体	工事名	請負会社	請負額 単位百万円
中国四国農政	斐伊川沿岸農業水利事業右岸配水路その2	フジタ	419.8
関東地整	新三国T改良他	日特建設	260
〃	中部横断丸滝T	西松建設	2,563.2
北陸地整	R8剣野地区排水路	中越興業	160
〃	加賀拡幅加茂函渠	大幸建設	250
近畿地整	八鹿日高道路三谷T(北側)	熊谷組	2,762.5
〃	〃 (南側)	清水建設	2,932.1
〃	丹波綾部道路須知第1T	森本組	864.99
〃	紀北西道路安上岩出(西側)T	奥村組	2,254
〃	〃 〃 (東側)T	西松建設	2,081.5
〃	〃 根来T(西側)	西松建設	3,406
〃	奥瀞道路葛山T	奥村組	1,074
〃	那智勝浦道路湯川第3T	鉄建建設	601.9
〃	近畿自動車道紀勢線十九渕第2T	大豊建設	769.15
中日本高速道路	新東名高速道路羽根T	鹿島・熊谷JV	12,368
西日本高速道路	新名神高速道路原荻谷T西	フジタ・熊谷JV	3,621
北海道	道道江差木古内線新吉堀T	鹿島・松本・相互JV	3,879.28
都・下水道局	豊島区目白三丁目，新宿区下落合二丁目付近再構築その3	りんかい日産建設	1,250
〃	北区豊島三，四丁目付近再構築	森本組	870
都・水道局	東村山市青葉町一丁目地内から新座市新堀二丁目地先間原水連絡管(2000㎜)用T築造	飛島・鉄建・戸倉JV	2,052.88
新潟県	流対大補1-3-1号一級河川福島潟流域治水対策河川事業(大規模)本田川樋門	帆苅組	107.8
山梨県	栃久保地区本田堰水路T	近藤工業	188
長野県	H25県営ため池等整備事業恩田井水地区扇ケ洞隧道	木下建設	212.5
三重県	中勢沿岸流域下水道(志登茂川処理区)志登茂幹線(第1工区)管きょ	熊谷・東海JV	971.3
大阪府	都計道大和川線常磐東ランプC-BOX	岸本・奈良JV	870.15
〃	寝屋川北部地下河川守口調節池築造(守口立坑)	清水・大豊JV	1,850
〃	箕面北部丘陵地区北山川T築造	熊谷組	996
岡山県	県道芳井油木線公共道路(トンネル工)	アイサワ・小田JV	1,548.8
〃	地域高規格道路美作岡山道路(県道佐伯長船線)道路(トンネル工)	大本・荒木JV	1,458
島根県	広域営農団地農道整備交付金事業安能2期地区(仮称)第2工区T	中筋・平井JV	918
水戸市	米沢町・元吉田町都市下水路新設	横田・酒井JV	168
〃	平須町排水路新設	昭和・東洋JV	273
足利市	公下福居町地区溢水対策	金子建設	122
小山市	雨ケ谷処理分区新設第1工区	山中組	135
江東区	豊洲駅地下自転車駐車場整備(その1)	三井住友・石川徳・青木マリーンJV	1,368.58
横浜市	中部処理区本牧第二幹線下水道整備(その2)	大林・小雀JV	364
茅ケ崎市	公下松浪2丁目地内外(雨水)通常25-1	西浜工務店	110
松本市	H25信大南雨水貯留管新設	ルピナ中部工業	144.4
久留米市	東櫛原地区貯留施設築造	不動テトラ・高木・大久保・永幸JV	1,640

計画

トンネル掘削に伴う地下水流動対策検討

—新名神高速道路　箕面トンネル—

西日本高速道路(株)関西支社建設事業部建設第一課長　伊藤哲男
西日本高速道路(株)関西支社新名神大阪西事務所副所長　宇根孝司
西日本高速道路(株)関西支社新名神大阪西事務所技術課長　佐伯徹

1 はじめに

新名神高速道路(以下，「新名神」という)は，愛知県名古屋市から三重県，滋賀県，京都府，大阪府を経由して兵庫県神戸市に至る延長約174kmの高速道路で，関西圏では名神高速道路や中国自動車道と相互に交通機能を分担することで渋滞緩和を図るとともに，ダブルネットワーク化による高速道路の信頼性を確保し，日本の産業・文化・社会経済活動の振興におおいに寄与することが期待されている．

西日本高速道路(株)管内においては，既に滋賀県域の甲賀土山IC～草津田上ICまでの約28kmが平成20年2月に開通している．京奈和自動車道と第二京阪道路を結ぶ城陽JCT～八幡JCT間の3.5kmと名神高速道路高槻第二JCTから中国自動車道・山陽自動車道とを接続する神戸JCTまでの40.5kmは用地買収が概成し工事が本格化してきている．

また，国土軸の多重化の必要性が高まるなか，大津JCT～城陽JCTまでの約25.1kmと八幡JCT～高槻第一JCTまでの約10.7kmについても平成24

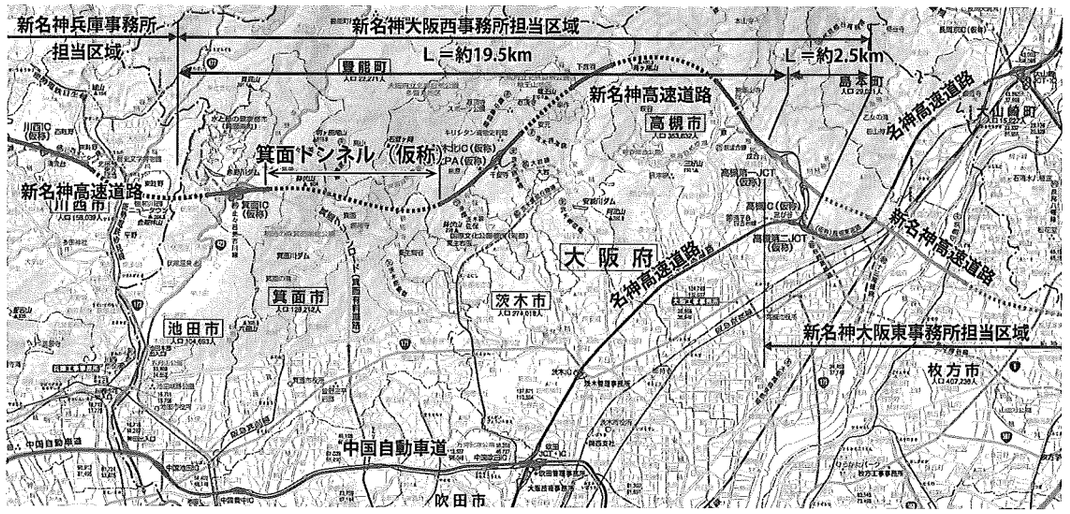


図-1　位置図

年４月20日に事業許可を受け，これにより，新名神の全線着工に至ったところである．

新名神のうち，新名神大阪西事務所の所掌は高槻第一JCTから大阪・兵庫府県境間の本線約19.5 kmと連絡路約2.5km(以下，「大阪西管内」という)であり，高槻市，茨木市，箕面市，豊能町，池田市といった北摂地域を通過する路線である(図-1)．

この北摂地域は貴重な自然林が多く残されており，森林や渓谷が分布する山地部や，優良な農林業地域である山間部が大部分を占めている．また，路線の２割弱にあたる地域が大阪府立北摂自然公園や明治の森箕面国定公園といった自然公園地域となっており，優れた自然の風景地の保護および利用の増進が求められている．

このような土地利用状況を考慮し，大阪西管内では地上部の土地の改変を伴わないトンネル構造が多くを占める．

構造物別比率はトンネル約55%，橋梁約24%，土工約21%であり，トンネル比率が非常に高い特徴を有している．

トンネル構造は地表部の改変を伴わない一方で，周辺地域の利水に影響を及ぼすことが懸念される．このため大阪西管内では，トンネル施工前後における地下水流動をマクロ的に予測し，利水への影響が想定される注意箇所の抽出，対策などについて検討を行ってきた．

本稿は，このうち箕面トンネルで行ったトンネル掘削に伴う地下水への影響に関する解析および対策工検討内容を中心に報告するものである．

2　箕面トンネルの概要

2-1　全体概要

箕面(みのお)トンネルは，茨木市佐保地区(東坑口)を起点とし，箕面市下止々呂美地区(西坑口)に至る上り線4,997m，下り線4,982mのトンネルである．１種２級B規格の暫定４車線施工で，両側路肩を各１mとした全幅９mに監視員通路を設けたトンネル断面である(図-2)．縦断勾配は1.448～2.000%で東坑口から西坑口へ下る片勾配となっている．

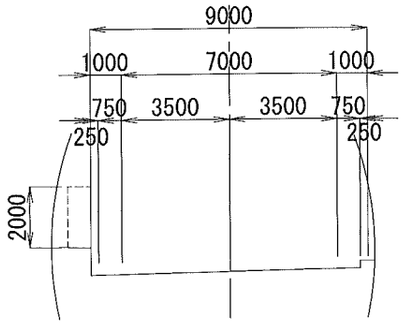


図-2　箕面トンネル標準断面図

2-2　地形概要

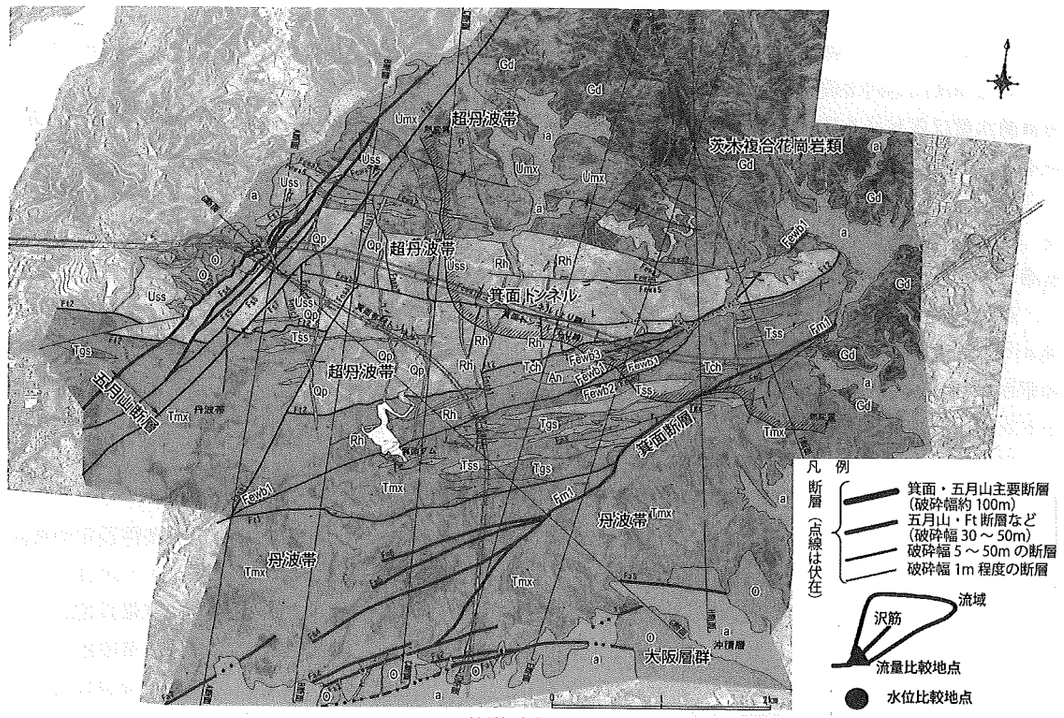
地形は主として標高200～700mの山地であり，主要河川沿いには狭い平地が分布している．全体的には北側が高く，南側が低い地形であり，トンネルから約３～４km以南で丘陵地または沖積低地となっている．

主要河川は東坑口側に佐保川，西坑口側は余野川が流れており，途中で勝尾寺川，箕面川(高山川)と交差している．両坑口の河川沿いや交差河川の上下流の緩斜面や平野部では広く水田が存在しており，多くの水を利水している．河川沿いには井戸水や湧水もあり，さまざまな用途で利用されている．

2-3　地質概要

地質は基盤岩である古～中生代の超丹波帯，丹波帯，茨木複合花崗岩類，貫入岩とそれらを被覆する新生代の堆積物からなっている．超丹波帯はトンネル中央部から西側に広く分布しており，砂岩優勢層，混在岩や頁岩優勢層からなっている．丹波帯はトンネル東側を含め超丹波帯の分布範囲の南側に分布しており，主として混在岩からなり，砂岩優勢層，チャート，緑色片岩をレンズ状に挟んでいる．

貫入岩は，超丹波帯や丹波帯の亀裂が卓越したところに貫入しており，流紋岩，石英斑岩または花崗斑岩，安山岩質～玄武岩質火山岩からなっている．貫入方向は地表部では鉛直ないし急傾斜のものが多いが，ボーリング結果や既存の隣接トンネルの施工実績から地下で大きく屈曲しているものも認められる．



地質相序表

地質時代			地層名・岩体名		記号	岩層・層相
新生代	第四紀	完新世	未固結堆積物		a	河床堆積物と崖錐堆積物の礫・砂・泥
		更新世	大阪層群		O	砂礫
中生代	白亜紀後期		貫入岩		Qp	石英斑岩，花崗斑岩
					Rh	流紋岩
					An	安山岩～玄武岩
			茨木複合花崗岩体花崗岩		Gd	花崗閃緑岩
	ジュラ紀		丹波帯 箕面コンプレックス	砂岩優勢層	Tss	砂岩，砂岩優勢砂岩，頁岩互層
				混在岩	Tmx	頁岩主体で砂岩，緑色岩，チャートなどを含む
				チャート	Tch	チャート
				緑色岩	Tgs	緑色岩
古生代	ベルム紀		超丹波帯 猪名川コンプレックス	砂岩優勢層	Uss	砂岩，砂岩優勢砂岩・頁岩互層
				頁岩優勢層	Ush	頁岩，頁岩優勢頁岩・砂岩互層
				混在岩	Umx	頁岩主体で砂岩，礫岩，凝灰岩などを含む

図-3　地質平面図

新生代の堆積物は大阪層群，崖錐堆積物，現河床堆積物からなり，大阪層群はトンネルの西側坑口付近および南方の丘陵部および沖積低地，崖錐堆積物は谷沿いおよび山裾部，現河床堆積物は比較的大きな川沿いおよび南方の沖積低地に分布している(図-5参照)．

2-4　断層概要

トンネル付近には多数の断層が分布しており，そのうち規模が大きくトンネルと交差するのは箕面断層帯，東西系断層帯，五月山断層帯がある(図-3)．

箕面断層帯はトンネル東側坑口付近を通る北東-南西走向のほぼ鉛直な断層で，主たる，Fm1は長さ５km以上で破砕幅は約100mである．既存の隣接トンネルの施工時にわずかに湧水が認められた程度(５L/min)であったため，全体的には透水性の低い断層と判断されている．

東西系断層帯は丹波帯と超丹波帯との境界付近

に集中している断層帯(Fewb1，Fewb2，Fewb3など)である．既存の隣接トンネルの施工時に90～1,500L/minの湧水が確認されているが，現在，恒常湧水量は各ピット間でもっとも少なくなっている．

五月山断層帯はトンネルの西坑口付近を通る北東–南西走向のほぼ鉛直な断層で分岐する多数の断層(Fs1～Fs7)からなっており，長さは6km以上，破砕幅の合計は200m以上である．既存の隣接トンネルの施工時に200～1,000L/minの湧水が確認されており，現在でも比較的多くの恒常湧水がトンネル内に認められているため，透水性の高い断層と判断されている．

3 地下水流動解析

3-1 解析手法の選定

トンネル掘削において地下水解析に使われる手法は，①3次元浸透流解析，②準3次元浸透流解析，③鉛直2次元解析などがある．今回は，このなかで，降雨による地下水位上昇などの自由水面の変動を伴う地下水の挙動を扱うことができ，広域の地下水低下予測およびトンネル横断・縦断方向の地下水流動予測にもっとも適しており，現在多くのトンネル掘削における地下水流動解析に使用されている「3次元飽和・不飽和浸透流解析」[1]を使用した．本手法は地下水解析における最新の手法であり，当該地域のように定量的な予測を必要とする場合には最適であり，適切な対策工を検討するための基礎データを得ることができる．

ただし，この解析で得られる沢，河川の流量は基底流量(無降雨時の低水量時の流量)に相当することから，降雨による影響を評価するために流量観測を実施している箇所においてタンクモデル法による流出解析を組み合わせて行った．

解析ケースとしては，「トンネルなし」「トンネルあり(無対策)」「トンネルあり(トンネル湧水対策あり)」の状態について定常解析を行った．

3-2 3次元飽和・不飽和浸透流解析

3-2-1 解析手法

定常・非定常の3次元飽和・不飽和浸透流解析の支配方程式は，運動方程式および連続方程式から導かれ，以下のとおりとなる．

$$\frac{\partial}{\partial x_i}\left(k_{ij}\cdot k_r(\phi)\frac{\partial \phi}{\partial x_i}\right) = \{\alpha\cdot S_s + C_s(\phi)\}\cdot\frac{\partial \phi}{\partial t} \quad (1)$$

x_i：x, y, z座標，ϕ：圧力水頭，S_s：比貯留係数，$C_s(\phi)$：比水分容量，k_{ij}：飽和透水テンソル，$k_r(\phi)$：比透水係数，t：時間，α：{不飽和領域($\alpha=0$)，飽和領域($\alpha=1$)}

本解析では供用後の長期間を対象とするため，解析モデル内の水収支がバランスした状態を想定し，定常解析を実施する．したがって，式(1)の右辺が0の支配方程式を解くこととなる．

3-2-2 タンクモデル法

流量観測データをもとに以下の条件設定や検討のためタンクモデルを構築した．

① 浸透流解析における降雨浸透量設定
② 現況再現検証に用いる基底流量設定
③ 保全対象に流入する河川・沢流量設定

本解析で用いるタンクモデルは，地山の基底流量などの低水解析に適している直列4段タンクモデルとした．

3-2-3 解析諸元

(1) 解析領域と境界条件

解析範囲については解析領域の水収支がバランスすることが望ましいことから，分水界(尾根筋)または河川・沢筋を基本として，以下の条件を加味して決定した．

① 高橋の水文学的方法[2]により得られた地下水の集水範囲を包含すること
② 既存の隣接トンネルの掘削による周辺地下水位の低下を考慮できること

また，解析領域の下面位置はトンネル最大土かぶり厚(約378m)を考慮し，EL－200mを不透水境界として設定した．

(2) 物性値の設定

地質構造，降雨浸透率および透水係数は，最終的に現況再現解析によるキャリブレーションにより得た最適値として設定することとなる．ここでは現況再現解析前の初期値の与え方について以下に示す．

① 降雨浸透率はタンクモデル解析による検討結果をもとに表層地質および土地使用区分を参考にして値を設定した．
② 透水係数は，過去に実施した透水試験の結果を地質や岩級区分ごとに整理し，その結果にもとづいて透水係数の設定範囲を定め，その範囲の中から値を設定した．

(3) 解析モデルの構築

解析領域，境界条件および物性値などの解析諸元にもとづき，接点数約130万，要素数約270万，解析領域面積約49.5km²の3次元浸透流解析モデルを構築した．

メッシュ構造は，地表を3角形に分割してそれをモデル下限まで延ばした3角柱を鉛直方向に分割して作成することを基本としたが，トンネル部は別途メッシュ分割を行い，トンネルの掘削形状や，予測解析で行う対策工のモデル化も考慮した．

3-2-4 現況再現解析

現況再現解析の目的は，現地の水文状況をよりよく再現できるように，解析条件をキャリブレーションし，トンネル掘削による保全対象への影響を適切に予測できる解析モデルを構築することである．キャリブレーションの対象とした解析条件は，地質構造，透水係数と降雨浸透率である．

現況再現解析では，現地調査実施期間のうち水文年単位でもっとも観測データが揃っている期間(以下，「現況再現期間」という)の降水量を使用し，現況再現期間のボーリング井および民間井戸の水位，河川・沢水流量，既存の隣接トンネルのトンネル湧水量の観測データおよび源頭(沢の水の流れが始まる場所)調査の結果から，その整合性で解析結果を評価した．

4 解析結果とトンネル湧水対策検討

4-1 無対策トンネルにおける解析結果

図-4に箕面トンネルの施工によって影響が想定される範囲として，解析上地下水位が10m以上低下する範囲を示す．影響範囲を10m以上と設定したのは，当該地区の観測地下水位の季節変動幅がおおむね20mであることから，その半分としたものである．

無対策トンネルでの影響範囲は，箕面トンネルを中心に最大幅で約1.6kmとなっている．尾根部では地下水位低下範囲が広がる傾向となっているが，これは現状の地下水位が高いためと考えられる．

影響範囲の広がりを個別にみると，西坑口側では既存の隣接トンネルを超えず，西坑口周辺での地下水への影響は見られない．また，地質が比較的良いと想定される箕面川交差区間(想定透水係数3×10^{-7}cm/sec)では影響範囲が狭く，大きな影響を受けていないことがわかる．

図-5にトンネルの区間湧水量(m³/min/100m)と累積湧水量(m³/min)を示す．縦断勾配が西坑口に向かって下る片勾配となっているので，累積湧水量は西坑口側で観測されるトンネル全延長(上下線2チューブ)の湧水量となる．予想される累積湧水量は2.64m³/minとなっており，区間湧水量のグラフから透水性が高いと想定される断層破砕帯や貫入岩部での恒常湧水が予想される．とくに土かぶりが約18mと小さく断層破砕帯が集中する勝尾寺川交差部では約600mにわたって比較的多くのトンネル湧水が発生する結果となった．

4-2 トンネル湧水対策

トンネル湧水に対する地下水保全の一般的な対策としては，トンネル周辺の地山を改良し透水性を低下させるグラウト注入工がある．一方，近年では山岳トンネルにおいても井戸，沢水，水田といった利水環境への影響を配慮して，岩盤シールド工法やNATMにおいてトンネル全周に肉厚の防水シートを敷設した非排水構造トンネルを採用するケースが増えつつある．

箕面トンネルにおいては，勝尾寺川交差区間が河川水や表層近くの地下水をトンネルに引き込むことが予想されること，またとくに注意すべき保全対象として下流域に多くの水田をかかえていることから，掘削時には排水するものの非排水構造を採用することで，完成時に地下水位の回復を図ることとした．

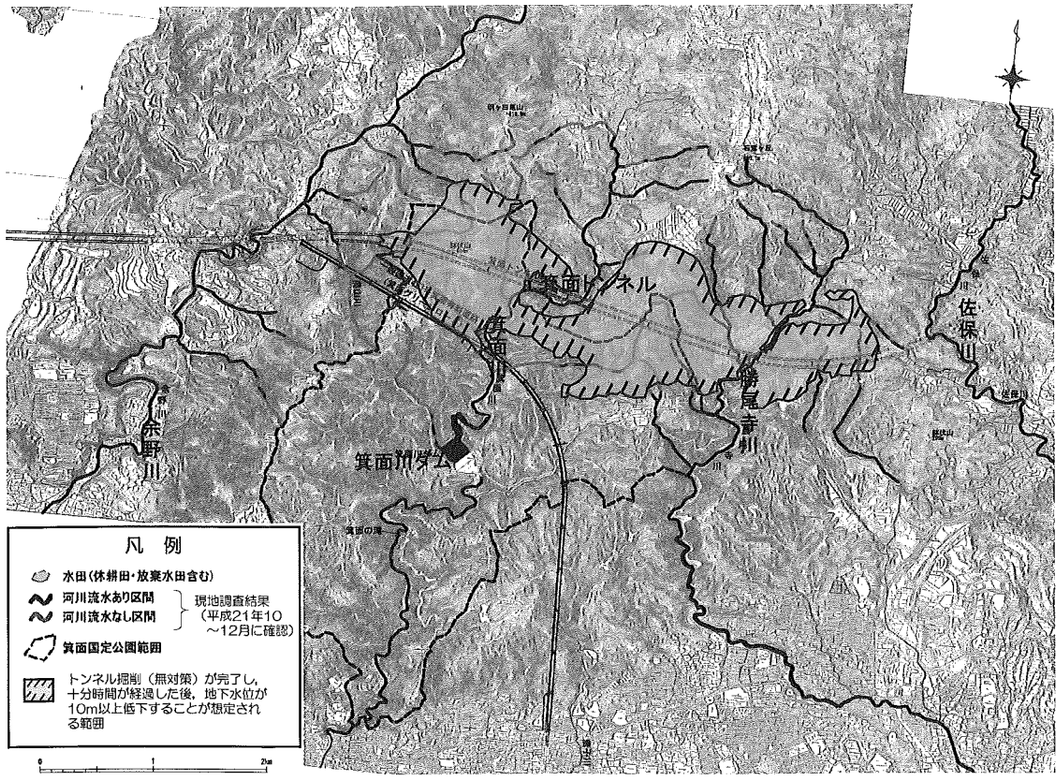


図-4 影響想定範囲「トンネルあり（無対策）」

4-3 非排水トンネルの採用による解析結果

勝尾寺川交差部の高透水性地山区間約600mに非排水構造トンネルを採用した場合の区間湧水量（m^3/min/100m）および累積湧水量（m^3/min）の解析結果を図-5にあわせて示す．非排水構造にすることで累積湧水量は1.58m^3/minとなり，全体として1.06m^3/minの湧水が抑制される結果となった．

しかしながら，非排水構造の技術的適用限界とされる水圧は，過去の施工事例などから水圧1 MPa（水位100mに相当）程度までであるが，当該区間の最大水圧は観測結果にもとづく推定水位線から約1.5MPaと見込まれる．そこで非排水構造の設定を600m区間とせず，最大水圧が1 MPaまでの範囲（延長約400m）として再度解析を行ったところ，0.25m^3/min程度の湧水抑制効果となった．これは高透水性地盤の範囲を完全に非排水構造としなければ十分な対策効果が期待できないことを示している．

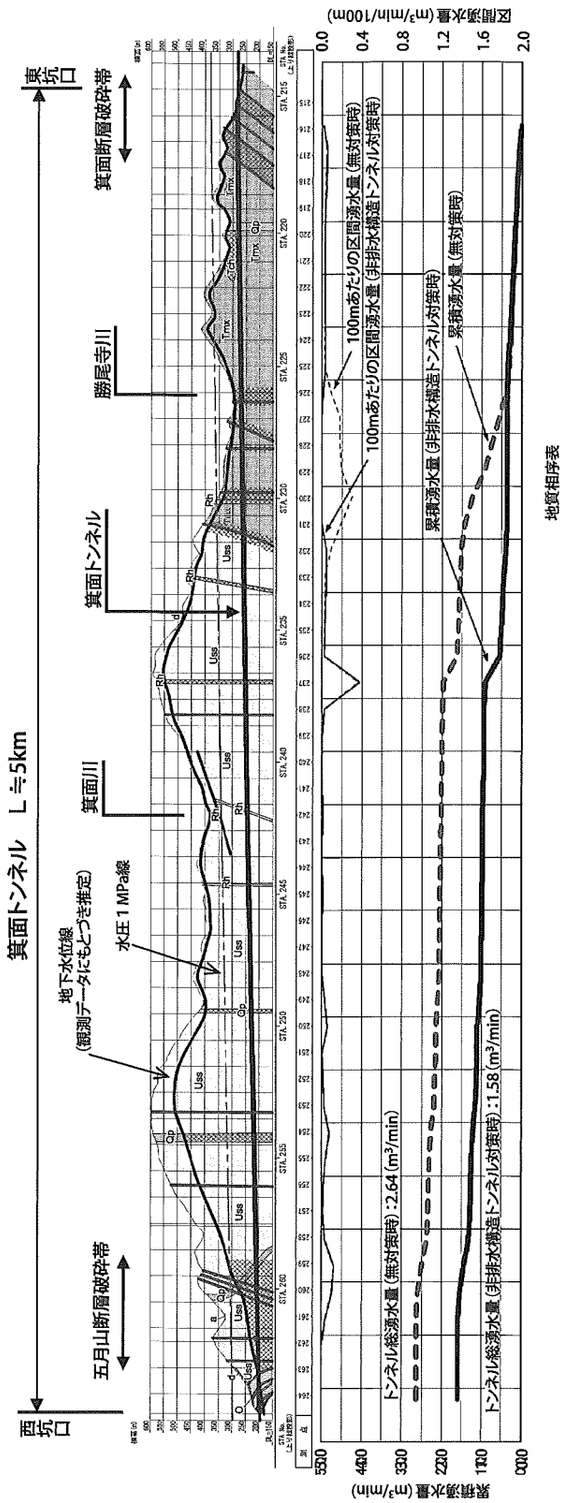
5 トンネル掘削に伴う水環境保全対策

5-1 水環境保全対策の基本方針

「山の深部の地下水と上部の浅い層の地下水は独立に存在しているため，トンネル土かぶりの厚い山では基本的に地表近くの水に直接影響が出ることはない」という基本的な考えのもと，大阪西管内ではトンネル掘削に伴う地下水流動対策の基本方針を以下のとおりとした．

① トンネル掘削によって周辺地域の利水に影響が及ばないよう調査・対策を行いながら慎重に施工を行う．

② 万一，河川，沢，湧水，ため池，井戸などの水資源に影響があった場合には，利水状況を勘案し，関係者との協議を行いながら，水道による対応，井戸の新設・掘下げ，ため池の設置，トンネル湧水の返水などの方法によ



地質相序表

地質時代			地層名・岩体名	記号	岩層・層相
新生代	第四紀	完新世	未固結堆積物	a	河床堆積物と崖錐堆積物の礫・砂・泥
		更新世	大阪層群	O	砂礫
中生代	白亜紀後期		貫入岩	Qp	石英斑岩，花崗斑岩
				Rh	流紋岩
				An	安山岩～玄武岩
			茨木複合花崗岩体花崗岩	Gd	花崗閃緑岩
	ジュラ紀	丹波帯 箕面コンプレックス	砂岩優勢層	Tss	砂岩，砂岩優勢砂岩，頁岩互層
			混在岩	Tmx	頁岩主体で砂岩，緑色岩，チャートなどを含む
			チャート	Trch	チャート
			緑色岩	Tgs	緑色岩
古生代	ペルム紀	超丹波帯 猪名川コンプレックス	砂岩優勢層	Uss	砂岩，砂岩優勢砂岩・頁岩互層
			頁岩優勢層	Ush	頁岩，頁岩優勢頁岩・砂岩互層
			混在岩	Umx	頁岩主体で砂岩，珪岩，凝灰岩などを含む

断面図凡例：地形線／地下水位線／トンネル計画高／想定断層／透水性部

図-5 トンネル区間湧水量

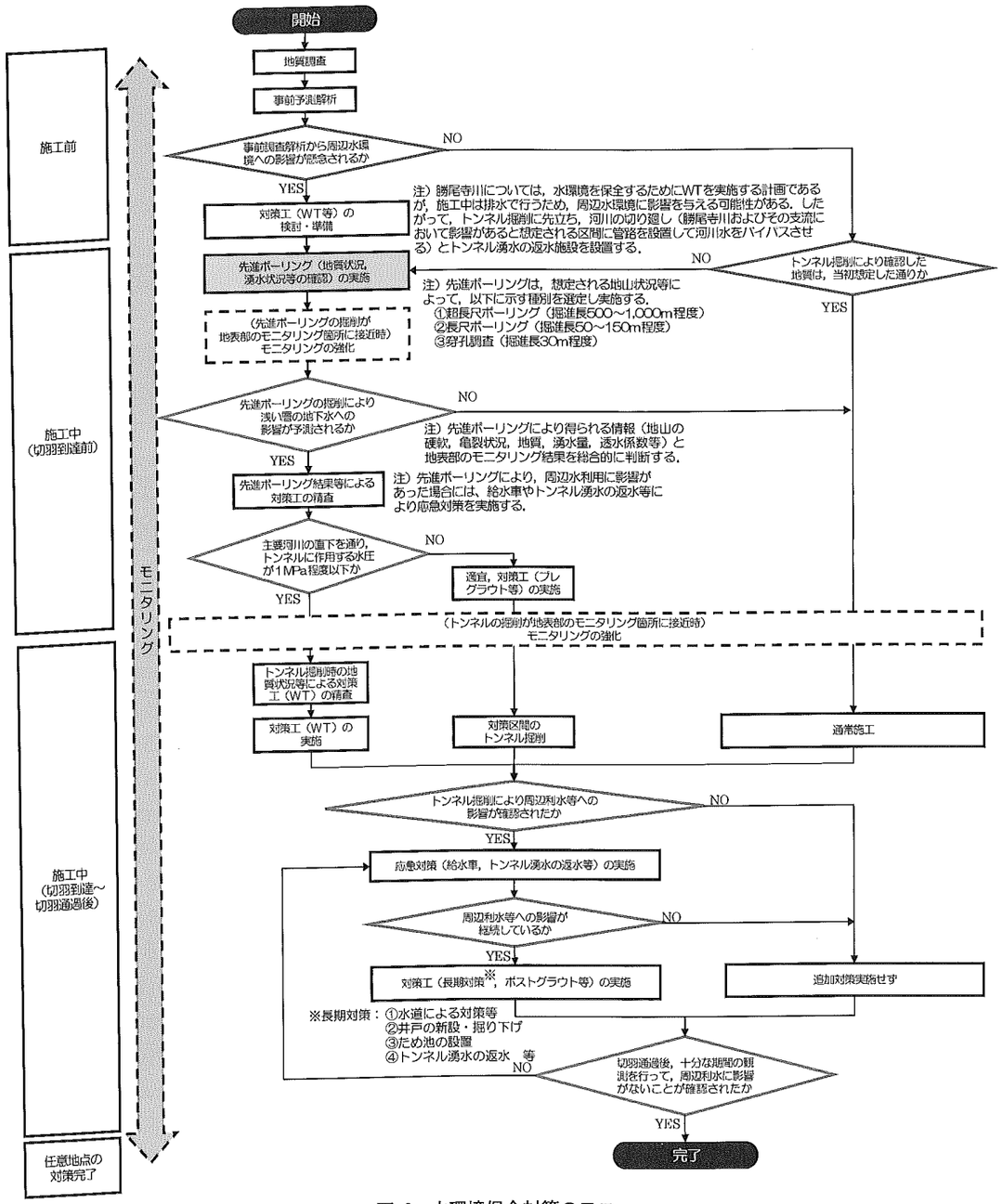


図-6　水環境保全対策のフロー

り，生活用水および農業用水など水文環境の機能復旧を図る．

③　箕面トンネルにおける河川交差部で，土かぶりが薄い勝尾寺川交差部区間については，施工中の河川等対策に加え，完成時においてトンネル本体工に非排水構造を採用することを基本とする．

また，これらを実行するために先進ボーリングやモニタリングなどを用いた地下水情報化施工を採用することとした．

5-2　水環境保全対策のフロー

地下水情報化施工を実施するにあたり，一連のフローを図-6のように整理した．トンネルの掘削は連続的に行われ，地点によって地質などの条件が異なるため，フローは任意の地点に着目し，施工の進捗に合わせて連続的に評価していくこととしている．またフローではモニタリング強化のタイミングも含め，施工前の事前調査・予測解析・影響予測判断，施工中(切羽到達前)の調査・調査結果の判断・対策工選定の判断，施工中(切羽到達～切羽通過後)の影響判断・対策工の実施判断などを時系列的に作成し，その地点のその時点において対応することとした．トンネル施工の完了は，すべての地点においてこのフローが完了した時点となる．

5-3　工事中の対策

5-3-1　先進ボーリング調査

箕面トンネルでは，4章で示したとおり，勝尾寺川交差部で比較的多くのトンネル湧水が予想される結果となったことから，対策工としてこの区間に非排水構造を構築すること(トンネル完成時点)を基本としている．このため，非排水構造区間の詳細な起点・終点の設定や現地条件に合わせた構造詳細を検討する目的で，切羽前方の水平先進ボーリング調査を実施する予定である．

先進ボーリングには，掘削方向を制御しながら高速で1,000m程度を掘削できるコントロールボーリングを採用する．コントロールボーリングはトンネル施工速度と比してきわめて速く掘削することが可能であり，早い段階でトンネル前遠方の湧水状況や地質状況が把握できることから，別途実施する透水試験やトンネル計画高さでの水圧測定結果も含めた対策工の検討に十分な時間の確保が可能となる．

また，地上部での河川・沢水流量や地下水位などのモニタリングをあわせて継続的に実施することで，トンネル掘削による地下水流動への影響を事前に把握できる可能性もある．

本ボーリングは，トンネルの非常駐車帯部の拡幅断面部を利用して機材を配置し，湧水量(孔口元測定)や削孔スライム分析による地質，削孔エネルギー，ボアホールスキャナ画像を利用した地質状況，孔壁RQD，走向傾斜などの情報を取得する計画である．

5-3-2　河川水対策

勝尾寺川交差部での非排水構造が構築されるのはトンネル完成時となる．そのため施工中の河川水対策として，トンネル掘削による影響の可能性がある河川区間に管路などを設置し，河川水を一時的に切廻し，バイパスさせる計画である．また，河川水の切廻しや非排水構造の構築を行っても，万が一，影響が発生した場合に備え，トンネル湧水を河川へ返水するための返水設備を事前に設置することも，あわせて計画しており，これらの対策は，勝尾寺川近傍のトンネル掘削を行う前に完了させることとしている．

6　おわりに

大阪西管内では，地質調査や水文観測結果などからトンネル掘削に伴う地下水流動解析を，3次元浸透流解析を用いて実施した．しかしながら解析においては，地質構成や透水性を解析領域全体で正確に把握することができないといった調査の限界があること，地層を均質なものとして扱い，モデル化していることなどから，解析結果はすべてに対して正確に再現・予測できているものではない．したがって解析結果はマクロ的な地下水の動きを把握するものとして取り扱うものと考えており，実施工にあたっては実際の地質状況の確認や各種モニタリングを行い，解析結果と比較・検

討しながらトンネル掘削を進めることが重要となってくる．

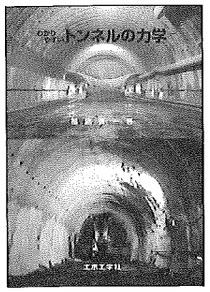
箕面トンネルの掘削は平成25年１月から東坑口側で開始しており，今夏からは西坑口側でも掘削を開始する予定である．また秋口からは勝尾寺川交差部の水平先進ボーリングも実施予定である．

今後の施工にあたっては本稿で紹介した調査・対策を実施しながら，周辺地域の利水に大きな影響を及ぼさないよう慎重に工事を進めていきたい．

※本稿に記載した連絡路などの施設，構造物名称は一部を除きすべて仮称である．

参　考　文　献

1）日本地下水学会地下水流動解析基礎理論のとりまとめに関する研究グループ：地下水シミュレーション，これだけは知っておきたい基礎理論，技報堂出版，2010.2.
2）高橋彦治：トンネル湧水に関する応用地質学的考察，鉄道技術研究報告，No.279，1962.



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

解説

SPR工法の開発と実用化の経緯

積水化学工業(株)取締役専務執行役員環境・ライフラインカンパニープレジデント　髙　見　浩　三
東京都下水道サービス(株)代表取締役社長(日本大学生産工学部研究所教授)　前　田　正　博
積水化学工業(株)執行役員環境・ライフラインカンパニー技術・開発センター所長　藤　井　重　樹
足立建設工業(株)代表取締役社長　足　立　邦　夫

1　はじめに

社会インフラの老朽化が進んでいる．首都圏の物流の大動脈を担う首都高速道路は，計画的に補修が必要な損傷箇所が96,600件あり，その対策費用のあり方などが議論されるようになっている．

一方，下水道管路についても同様に，明治，大正，昭和初期から下水道整備を行ってきた都市では，その老朽化対策が喫緊の課題となっている．国土交通省の調べによれば，下水道管の損傷に起因した道路陥没が全国で毎年5,000件(図-1)ほど発生している状況にある．また，下水道管路の年度別整備延長の推移(図-2)が示すように，埋設後50年以上を経過した老朽管が既に１万km以上，30年以上を経過したものを含めると８万４千kmとなっており，今後老朽管の比率は確実に高まってくる．

老朽化した下水道管は，掘り起こして新管に入替えざるを得ない．しかし，下水道管が埋設されている道路下には水道管やガス管など多くの埋設物が存在している．これに加えて下水道管の埋設位置が深く，また規模も大きいことから入替え工事を行う際には，市民生活や道路交通などへの影響をできる限り抑制する必要がある．このため，道路を掘り起こすことなく非開削で老朽管を新管同様に再生できる工法，いわゆる更生工法の開発，導入が下水道管理者から求められてきた．

筆者らは，このニーズに応えるべく昭和60年ごろから技術開発を進め，既設管内面に沿って塩ビ製の帯状材料(プロファイル)をかみ合わせつつ巻き立て，このプロファイルと既設管との隙間を特殊なモルタルで充填一体化した複合構造体を構築する新たな更生工法として，SPR工法を世界で初めて実用化し，国内外で多くの実績を積み重ねてきた．この実績が評価され，(公社)大河内記念

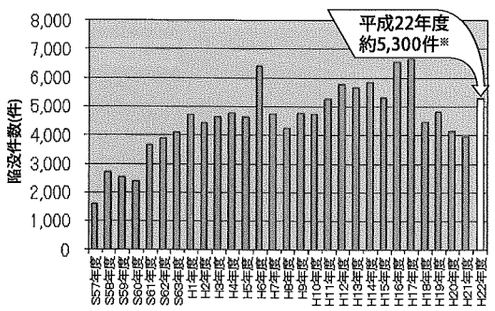


図-1　道路陥没箇所数の年度別推移(出典：国土交通省)

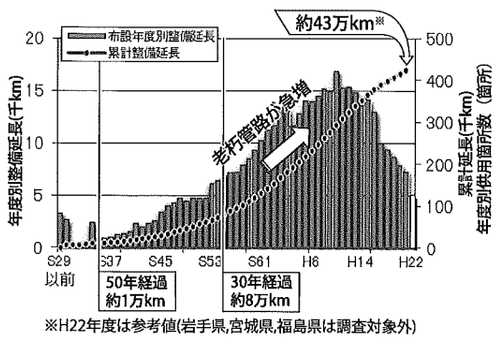


図-2　下水道管路の年度別整備延長推移(出典：国土交通省)

会より，平成24年度の大河内記念賞を受賞した．この受賞は建設技術分野で初めてのことである．

本稿では，改めてSPR工法の基本技術を解説するとともに，継続した技術開発による工法システムの進化と施工実績，そして現在進めている海外展開に向けた取組みなどを紹介するものである．

2 更生工法への改良開発

SPR工法は，そもそもオーストラリアから導入した製管技術を，日本国内で筆者らが下水道管の更生技術に進化，発展させたものである．**写真-1**は技術導入時の製管装置である．後に紹介する**SPR工法の製管装置と大きく異なっていること**が理解できる．

この装置により両端にオス・メスの嵌合部を有する塩ビ製の帯をスパイラル状に巻き立て，工場の換気ダクトや排水管などを施工現場で製管する技術であった．SPR工法はこの装置を作業スペースに制限のあるマンホール内に収納，作業ができるように改良し，下水道管の更生技術に発展させたものである．以下に，そのために取組んだ技術開発の目標，開発した基本技術・使用材料などについての概要を述べる．

2-1 開発目標

SPR工法の開発にあたって，下水道が下水の流入を停止，あるいは制限することが困難な施設であることを前提条件とし，以下の開発目標を設定した．

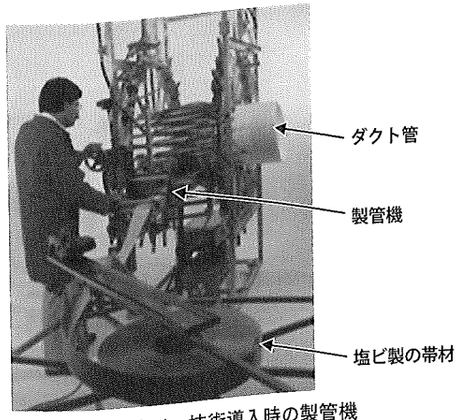


写真-1 技術導入時の製管機

① 非開削施工であることから施工資機材の搬入などすべての作業はφ60cmのマンホール開口部から行えること．

② 供用中の下水を止めることなく施工できること．

③ 老朽管内面のライニングによる下水流下能力の低下がないこと．

④ 新管と同等以上の強度に更生できること．

⑤ 開削工法によるものと同等以下のコストで施工可能なこと．

2-2 基本技術の開発

開発した基本技術であるSPR工法の元押し式製管工法のシステムイメージを**図-3**に，更生後の断面のイメージを**図-4**に示す．

開発目標①は，製管機(装置)をφ60cmの開口部から搬入できる分割構造とし，マンホール内に

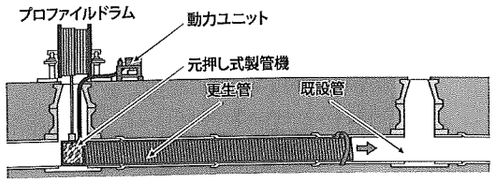


図-3 SPR工法のイメージ(元押し式製管工法)

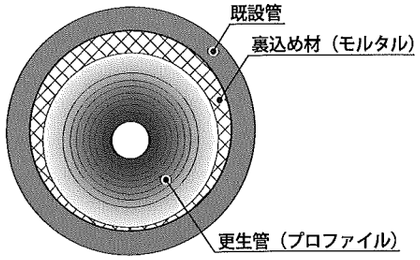


図-4 更生後の断面図

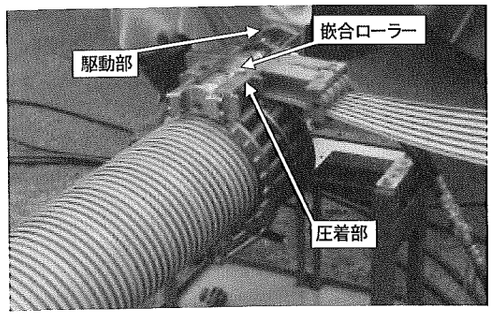


写真-2 元押し式製管機

搬入の後に組立て，固定できる構造にした．また，製管機(**写真-2**)はプロファイルのオス部とメス部とを嵌合できるように嵌合ローラーの駆動力と圧着力とが確実に作用できるように工夫してあり，この嵌合により所定の口径に製管された更生管が下水管路内前方に連続して押し出されていく仕組みを考案した．

開発目標②は，下水を供用したまま製管作業ができるように，製管機は油圧駆動，防水仕様とし，十分な内空を有する構造とした．

開発目標③は，下水と接触する更生管が塩ビ材料であることから粗度係数が0.010とコンクリート管(0.013)などと比べて小さいため，断面縮小しても流下能力の低下を補い流下量を確保できた．

開発目標④は，既設管と更生管との隙間にモルタルを充填，一体化することで新管と同等以上の耐荷力を確保した．

開発目標⑤は，非開削工法であることから仮設や残土処理などを要しないため開削工法と比べて1/3～1/2程度のコストでの施工が可能となった．

2-3 使用材料

主な使用材料は製管(更生)材料であるプロファイルと充填モルタルの2つである．

(1) プロファイル

製管材料であるプロファイルには，下水道管材料として求められる強度，耐薬品性，耐摩耗性および耐久性などに加え，寒冷地での耐衝撃性や製管時に作用する局所的な動的荷重にも耐えられる材料特性も備えていなければならない．また，所定の断面形状を保持し，地下水の流入のほか充填モルタルの漏逸を起こすようなこともあってはならない．

このため，従来の下水道管材として使用されていた硬質塩化ビニル樹脂をベースとし，適度の柔軟性も備えた材料を開発することにした．具体的には，塩ビ樹脂自体に特殊ゴム材料を化学結合させ，均一に分散させることにより強度を低下させずに耐衝撃性能を確保できる新材料を産み出すことに成功した．**図-5**に従来の塩ビと新たに開発した樹脂の性能(引張強度と耐衝撃性)の違いを示す．

また，断面形状の保持，地下水の流入・充填モルタルの漏逸防止については，**図-6**に示したようにプロファイルのメインロックとサブロックが接触する部分に特殊なシール材を同時成形することにより，嵌合による圧接で嵌合部の滑りを防止し製管径，断面形状の保持が図れるとともに，十分な止水性も確保できるようになっている．

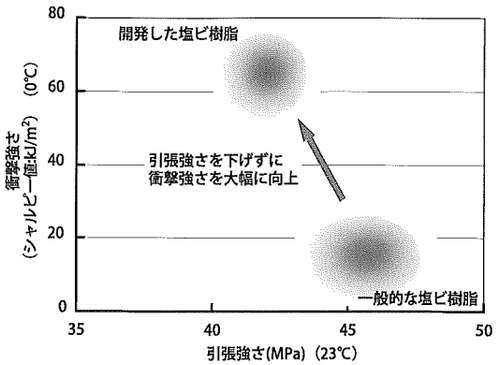


図-5 開発樹脂の性能比較(引張強度と耐衝撃性の相関)

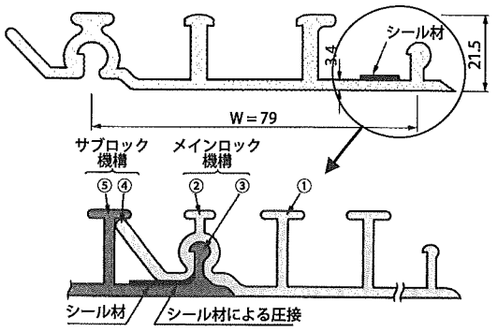


図-6 プロファイル断面図(例)と嵌合機構

表-1 特殊モルタルの物性

項　目	内　容
配合成分	普通ポルトランドセメント 黒曜石系軽量骨材 フライアッシュバルーン 無機系粘着収縮低減剤 アクリル系エマルジョン 水
単位容積質量(比重)	1.20kg/L 以上
圧縮強さ	σ_7 = 8.0N/mm²以上 σ_{28}=12.0N/mm²以上
フロー値	250～320mm
非拡散性	良好

※現行の配合／性能とは一部異なる

（2）　充填モルタル

既設管と更生管との空隙に充填する裏込め材には，所定の強度とともに既設管との付着力，硬化時の収縮の抑制，さらには注入時に残留した下水に対して材料分離が生じにくいなどの特性を与える必要がある．このため，普通ポルトランドセメントに軽量骨材やアクリル系エマルジョンなどを配合したレジン系の特殊モルタルを開発した．配合，物性値の一例を表-1に示す．

3　工法システム進化の経緯とそれを支えた要素技術の開発

先述したように下水道管の老朽化対策のニーズはきわめて高く，工法開発以降多くの実績を積んできた．そのなかで安全性や効率性の向上に向けた改善，改良とともに，施工対象の拡大などに向けた技術開発を進めてきた．それは，前記した基本技術(元押し式製管工法)に対して，施工の長距離化，大口径・非円形断面への適用，施工の合理化，曲線施工などシールド工法が歩んできた技術開発の推移にも似ている．また，この技術開発と併行して構造評価にかかわる研究を進め，設計法についても独自の手法を整備してきた．

以下に，基本技術である元押し式製管工法から発展した主な工法システムへの進化のポイントとなった要素技術などについて紹介する．

3-1　長距離・大口径化

元押し式製管工法は，マンホール内に製管機を設置し，更生管を製管，押出す方式である．このため，マンホール間が長かったり，更生口径が大きくなると更生管の重量が大きくなり，既設管と更生管との摩擦力が製管機の押出し力を上回るなど施工距離に限界がある．この対策として開発したのが，自走式の製管機である．図-7に施工システムのイメージに示すが，製管機自体が既設管内を製管と同時に自走，移動する方式である．これにより，元押し式ではφ250～800㎜，施工延長60m程度であったのに対し，φ900～5,000㎜程度，施工延長に制限をなくすことができた．写真-3は下水供用下での製管作業の様子を示したものである．

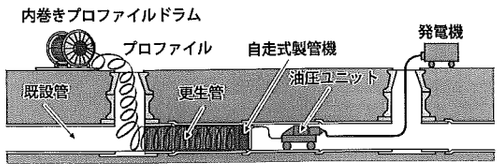


図-7　自走式製管工法の施工システムイメージ

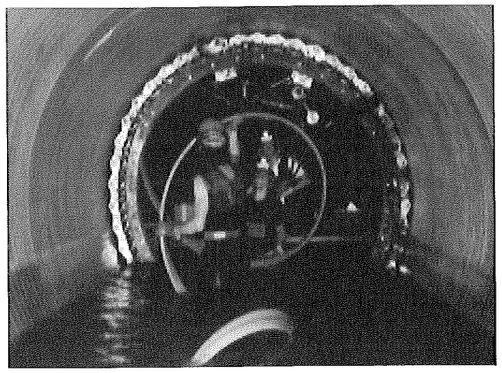


写真-3　下水供用下での製管状況

3-2　非円形化

下水道管には，矩形，馬蹄形，楕円形など非円形のものがある．とくに古くに施工された管路に多く見られる．この非円形管路を更生するために自由断面製管方式の開発を行った．ここでの要素技術のポイントは，前記した自走式製管機をベースにして，1つは非円形断面形状を形成するための製管装置の開発，2つには形成した断面形状の保持と構造耐力を確保し得る更生材，プロファイルの開発である．

1つめの断面形状の形成については，写真-4に示すように，製管機に既設管の断面形状と相似になるように更生管の形状を規制できる装置(形状規制フレーム)を付与することで解決した．

2つめの製管後の更生管構造が所定の形状の保持ができるように，また既設管と更生管，充填モルタルとが一体となって構造耐力を確保できるようにするため，図-8に示すスチール補強材一体型プロファイルの開発を行った．プロファイルの形状は，リブ形状のⅠビーム連続体で，両端にはスパイラル状に製管嵌合するためのダブルロック嵌合機構を有する．そして，剛性の確保と製管形状の維持のためにスチール部材を一体化させたもの

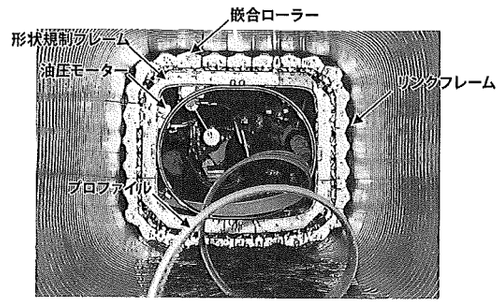


写真-4　矩形きょ用製管機

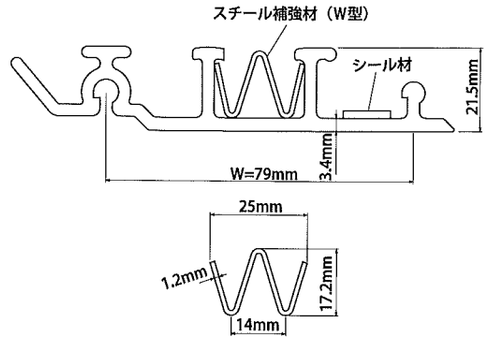


図-8　プロファイルの断面図(スチール補強材一体型の例)

である．

この2つの要素技術の開発により，あらゆる下水道管の断面形状に対しても更生工事を行えるようになった．

3-3　同時裏込め製管工法

工法の多様化が進み多くの実績を積んでいくなかで，さまざまな改善，改良を行う一方で，多くの課題への対応に迫られてきた．例えば，SPR工法は，複合構造であるため断面縮小が避けられないという課題があった．また，供用下での施工を行う関係から施工スピードが要求される場合がある．

この課題に対応するために，製管と裏込め注入を同時に行う同時裏込め製管工法を開発している．本工法も自走式製管工法を基本に，図-9に示すように製管を行う嵌合ローラーと裏込め注入を行う注入ノズルを同調一体で作動，制御するシステム，および移動しながら進む製管部に限定的に裏込め注入できるような粘性の高い特殊モルタルの開発が，これを実現した．

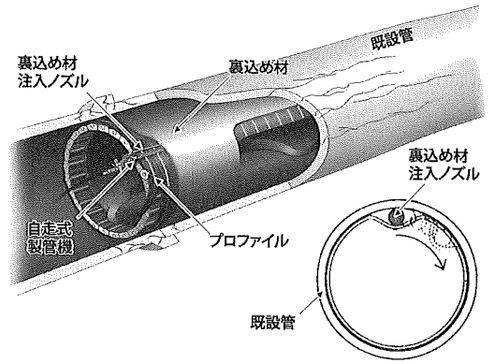


図-9　同時裏込め製管工法のシステムイメージ

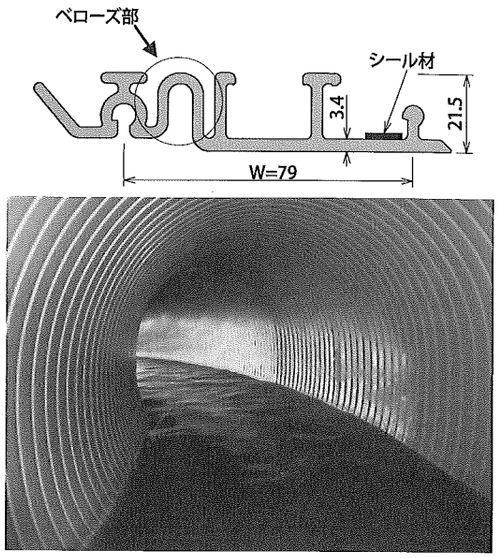


図-10　急曲線施工用プロファイルと施工後の様子

3-4　急曲線施工

在来の河川に蓋を施し下水道化した管きょや，シールドトンネルは道路線形に合わせて築造されているため曲線部を有していることもある．このような曲線部を更生する場合の対応として，図-10に示すような曲線専用のベローズ部(凹部)を設け，伸縮性を高めたプロファイルを開発することで，曲率5D(D：既設管径)まで施工できるようになっている．

3-5　構造設計法

従来にない複合構造の更生工法を実用化するには，前記した施工法や材料開発に加え，構造を評

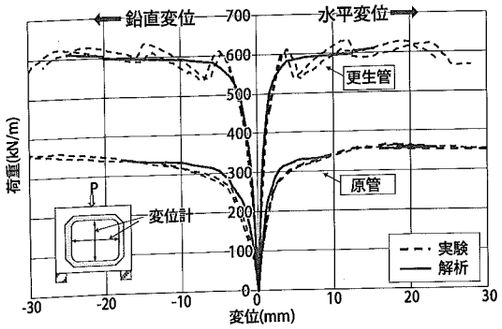


図-11　外圧試験における実験値と解析値の比較

価，設計できるようにする必要がある．このため，構造特性の把握とその解析法の研究を行ってきた．

SPR工法による更生管は，既設管の残存耐力に期待し，既設管と更生部材と一体化することで外力に抵抗するものである．対象とする既設管は，既に損傷を受け，許容応力度を超えていることが多いため，従来の許容応力度法を採用することはなじまない．このため，限界状態設計法の考え方を基本として，管の使用限界および終局限界状態について照査することとした．

しかし，SPR工法のように数種類の部材からなる補強工法では，補強後の構造物の終局耐力の評価が困難であるという課題があった．これに対しては複合管の挙動を室内実験における要素試験と実規模実験からモデルの妥当性を確認したうえで分散ひび割れモデルにもとづく非線形FEM解析により更生管の挙動を表現できる手法を開発した．

安全性の照査としては，使用限界状態として設計荷重に対して新たなひび割れが発生しないことと，終局限界状態として更生管の終局耐荷力が設計荷重に対して所要の安全率を有することを確認するものとした．**図-11**は，開発した解析手法で求めた荷重と変位の関係を実験値とあわせて示したもので，両者は良好な整合を示している[1]．

3-6　耐震性

兵庫県南部地震以降，地下構造物も耐震性能が要求されるようになり，下水道管路でも重要幹線ではレベル2地震時にも下水道として機能することが要求されるようになった．SPR工法におい

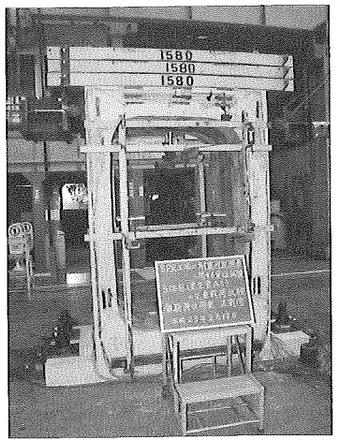


写真-5　矩形渠更生管の交番載荷試験

ては，レベル2地震時の安全性は分散ひび割れモデルにもとづく非線形動的応答解析により，終局変位とせん断耐力について照査を行っている．また，地震時の更生管の縦断方向，横断方向の挙動を実験で確認しその安全性の確認を行っている．**写真-5**は大規模地震時の更生管の横断方向の挙動を確認するため，既設管のピーク荷重相当を作用させた交番載荷試験を実施した状況を示したものである．交番載荷試験により損傷が生じた管に対して，さらに鉛直線荷重による破壊試験を実施し，かぶりを欠損させた減肉管を更生した管が地震時に損傷が生じたとしても，新管と同等以上の耐力を有することを確認している．この結果，老朽化対策とあわせ既存の下水道施設の耐震化を目的にSPR工法が採用される事例が増加している．

4　施工実績と海外展開に向けた取組み

4-1　国内実績

SPR工法は下水を供用しながら施工ができること，工場製品を主要材料としていることから高品質の更生管構築が可能であるなど下水道管理者のニーズにマッチしたこともあり，全国47都道府県のすべてで採用されている．**図-12**に施工実績の推移を示したように，平成23年度末には全国で約700km以上の下水道管路の更生に採用されている．

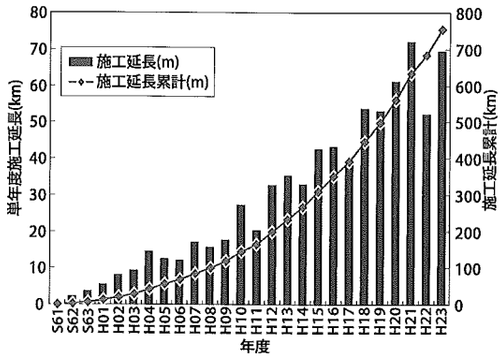


図-12　SPR工法の施工実績の推移(国内)

4-2　海外展開に向けた取組み

下水道管の老朽化は，わが国に限った問題ではない．とくに下水道整備を先進的に進めてきた欧米やアジアの諸都市において更生工法のニーズは高いものがあり，既に欧米企業を中心に多くの更生工法が開発，実用化されている．これら工法は，専ら熱や紫外線により硬化する樹脂を含浸させた筒状の更生材を既設管内に引き込むなどしたあとに，空気圧などで既設管内面に密着させた状態のまま，熱などを加えて硬化させて更生管を構築する技術である．

したがって，新たな発想である複合構造体を構築するSPR工法を海外で採用してもらうには，それぞれの国における規格や技術基準などの認証を取得しなければならない．これまでに独自に取得してきた技術認証や，適合する規格などを列挙すると以下のようになる．

- ISO規格：ISO11296-7　Spirally-wound Pipes(2011年：製造，施工)
- ASTM規格：ASTM F1697-09 Machine Spiral-wound Liner Pipe(2002年：製造)，ASTM F1741-08 Spiral-wound Liner Pipe for Rehabilitation(2002年：施工)
- DIBt(独)：Deutschen Institut fur Bautechnik(2009年)
- 建設新技術審査認定(韓)：国土海洋府(2006年)
- 環境貢献新技術審査認定(韓)：環境府(2011年)

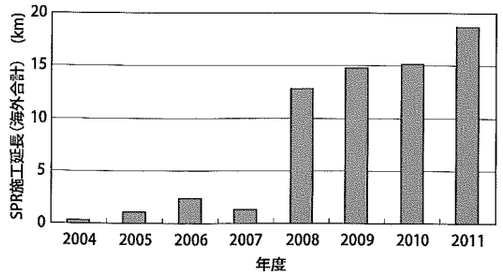
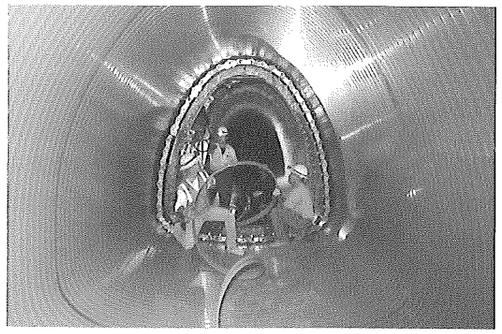
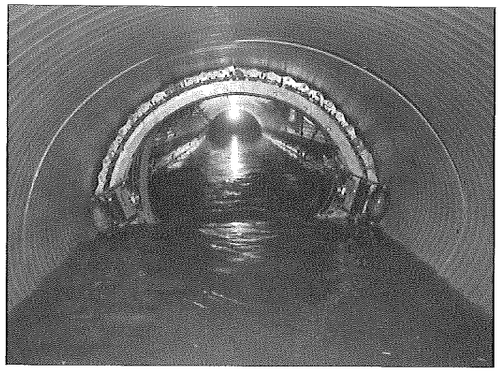


図-13　SPR工法の施工延長実績推移(海外)



(a)米国ロサンゼルスでの施工事例



(b)ポーランドでの施工事例

写真-6　海外での施工事例

- 水資源新技術審査証明(韓)：韓国水資源管理公団(2008年)

このような取組みを経て，現在では米国，シンガポールなどをはじめ13か国においてわが国独自の複合管更生工法であるSPR工法が採用されるようになっている．

図-13の海外での施工実績の推移が示すように，採用実績が着実に伸びてきている．**写真-6**に海外での施工事例を示す．

5 おわりに

SPR工法は開発に着手してから30年近くになる．筆者らは当初より下水道老朽施設の維持更新，再構築は将来的に必要不可欠との確信のもとに，継続して技術開発に経営資源を投入してきた．今日では，あらゆる分野のインフラの維持管理，更新さらには長寿命化といった施策が，国の主要政策になってきている．このようななかにおいて，本工法は利用者，施工者，材料メーカがそれぞれの強みを結集し技術開発に取組んできたものである．筆者らは今後とも安全性や品質，経済性の向上などへの取組みを進め，わが国の下水道管路の老朽化対策に貢献するとともに，日本発の技術を水ビジネスの先兵として海外展開していく所存である．

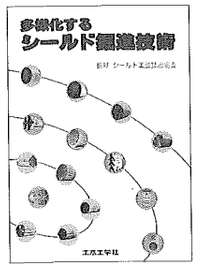
参考文献

1) 高橋良文・秋元栄器・北山康・埴原強：海外からの技術導入を経て海外展開へ，老朽下水道管渠更生工法の開発と適用拡大への取組み，土木学会誌，Vol. 90，No.12，pp.56-59，2005,12.

2) 大迫健一・小岩三郎・北橋直機・秋元栄器・中津井邦喜：SPR工法の更生技術と耐荷力評価法，土木学会　コンクリート構造物の補強設計に関するシンポジウム論文集，Ⅱ-135-Ⅱ-144，1998.

3) Nakano, M. Shi, Z. Nakamura, Y. Takahashi, Y. and Haibara, T.: Renovation design of aging RC sewers as semi-composite structures based on nonlinear response analysis, *Proc. of VIII International Conference on Fracture Mechanics of Concrete and Concrete Structures* (FraMCoS-8), CD-ROM, 2013

4) 中野雅章・師自海・中谷浩平：老朽下水道管渠の更生設計における非線形FEM解析の適用，平成20年度建設コンサルタント業務・研究発表会論文集，pp. 73-76，2008.



多様化する
シールド掘進技術

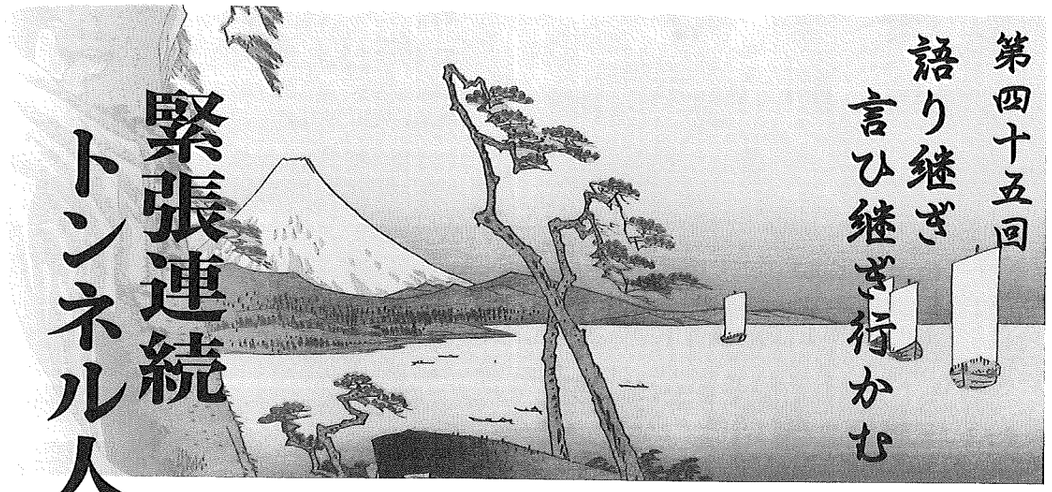
監修　シールド工法技術協会
B５判　141頁　本体価格2,500円

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充塡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



緊張連続トンネル人生の面白さ

(株)安藤・間社友
大内　悟

はじめに

私は昭和37年に(株)間組に入社しました．トンネル工事に従事するようになったのは昭和41年で，20代前半でした．それから平成15年まで，37年間山岳トンネル工事に従事し，その数12か所，延べ延長L＝23.2kmを経験しました．トンネルの内訳は，道路トンネル６本，鉄道トンネル３本，水路トンネル１本です．その後，平成15年秋からトンネル経験を生かし，トンネル専門業者の本部建設(株)に従事しています．いままでの失敗談や楽しい思い出話，苦労話をいくつかの現場経験から述べたいと思います．

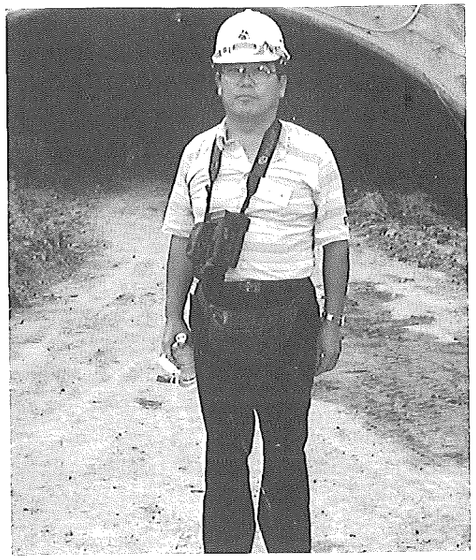
東名高速道路
都夫良野・吾妻山トンネル
L＝1,062m，L＝838m，
L≒430m×２本

私がトンネル工事に従事した最初の現場で，20代前半の若年技術者でした．職員は約20名のうち，４本のトンネル(同時施工３本)を各５名で担当し，私は仮設備から担当しました．

両トンネルの施工方法は，矢板工法の底設導坑先進上部半断面工法で，当時は鋼製支保工を使用した最新工法でした．

最初に苦労したのは，企業者の発注図面でした．当時の日本道路公団(現 中日本高速道路(株))は国際銀行の借入からか，図面の文字は英語，またはローマ字で，とくにトンネル専門用語は辞典にもなく先輩たちも戸惑うばかりでした．

トンネル切羽は導坑，上半，大背，側壁と覆工コンクリート(逆巻き，側壁)と作業箇所が多く，作業員も１か所のトンネルで約50名，３か所で合計150名いました．また，当時はセメントおよび鉄筋は道路公団支給のため，バッチャープラントは現地に設備しなければなりませんでした．ただし，本体工事以外のセメントは無支給のため，数量管理にはたいへん苦労し



台北高速道路現場前にて(著者：中国トンネル国際会議)

著者略歴

昭和37年４月	(株)間組入社
昭和41年９月	東名高速道路都夫良野トンネル工事
昭和44年６月	国鉄貨物線生麦トンネル工事
昭和47年４月	国鉄貨物線保土ヶ谷トンネル工事
昭和47年６月	国鉄武蔵野南線生田トンネル工事
昭和49年３月	上越新幹線月夜野トンネル(石倉)工事
昭和54年６月	三沢川分水路稲城トンネル工事
昭和56年１月	常磐自動車道諏訪大久保トンネル工事
昭和61年１月	国道254号内山３号トンネル工事
昭和62年９月	道央自動車道鷲別トンネル工事
平成２年４月	国道117号館山自動車道鋸山トンネル工事
平成７年１月	東関東支店土木部長
平成９年11月	東北新幹線岩手トンネル(摺糠)工事
平成14年５月	国道103号道路改良工事・宇樽部トンネル
平成15年６月	(株)間組退社
平成15年７月	木部建設(株)入社，現在に至る

ました．当然，覆工コンクリートの指定余巻き量以外は自社負担でしたから，その後の工事管理にはたいへん役に立ったと思います．

職員，坑夫，坑内夫，共通作業員，明かり作業員は総勢260名もの大所帯でした．また，当時は現在の下請制度ではなく，親方制度でしたので，賃金の支払いには労務係がいて，各担当職員が坑夫などの出勤簿を確認したうえで，賃金支払いに立合いました．また作業員の労務単価が異なるため，作業員一人一人の名前を覚えるのにたいへん苦労しました．

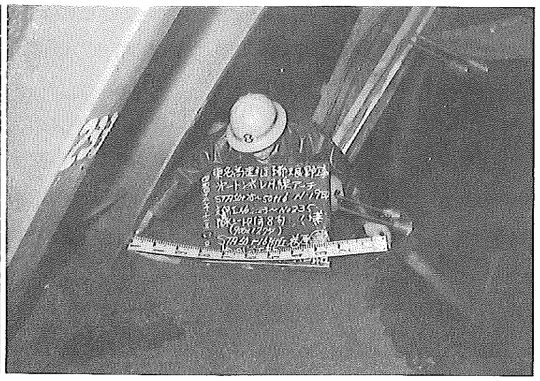
職員事務所，宿舎，食堂，親方事務所，作業員家族宿舎，作業員宿舎，売店，理髪店などの仮設建物はすべて施工者が設備しなければなりませんでした．笑い話ですが，あまりに大きく深い風呂を設備したことで，所長に大目玉をもらった記憶があります(箸，茶碗まで用意しなければなりませんでした)．

仮設備としては，ずり投入設備(ずりビン，チップラー，プレートフィーダ)，生コン工場(骨材投入設備，骨材ビン６基(φ６m×H＝５m)，バッチャープラント１基)，給気用コンプレッサ設備(縦型コンプレッサ３基：削孔用レッグハンマ，ずり積み用ロッカーショベルRS95アイムコなどの空圧機械用)がありました．各設備の能力は覚えていませんが，非常に精密に据付けなければならないため，機械主任に幾度も直されたことが思い出されます．現在のように，油圧機械が発達した時代と比べればなんとも能力不足の時代でした．現在では給気設備は吹付けロボットが大半で空気の使用量が少ないため，コンプレッサを坑外に据付けるか，吹付けロボットに搭載しています．修理工場(ロッド・ビット研磨工場，バッテリーロコ工場)，充電設備，受電設備，給水設備，換気設備，照明設備，坑外軌条設備，火薬設備(火薬庫，爆薬庫，取扱所，火工所)生コン試験室，土質試験室(水槽があまりにも大きくて試験室長に怒られたことを思い出します)なども準備しなければなりませんでした．

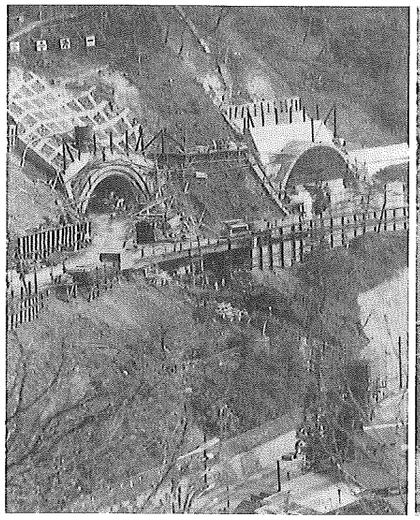
次に，工事管理のうち，基本である測量についてお話します．道路センターがクロソイド曲線であり，学生時代や明り工事担当時代では聞いたことのない測量方法で驚きました．先輩たちに聞いてもわからず，はずかしながら他工区の経験者に夜間指導を仰ぎながら勉強したことが鮮明に思い出されます．外注測量専門会社に委託することもできず，隣接工区と貫通点まで山越えの地上踏査測量を1,500m行いました．測量結果には50～60cmの狂いが生じました．



吾妻山トンネル坑口側壁導坑のスコリヤ層内掘削(著者：中央)



都夫良野トンネル上り線アーチコンクリート巻厚測定



吾妻山トンネル発進側坑口(手前上り線，奥が下り線)



都夫良野トンネル下り線坑口前(著者：後列左)

というのも，トランシットは20秒読み，距離はスチールテープ(現在はGPS測量)です．測量のため山の地主と交渉して伐採を行い，早朝，陽炎の出ないうちから手旗信号(トランシイバーがない時代)で行うため，朝の２～３時間しか測量できず，山越え測量に１か月かかりました．また，現在のような計算機もなく，計算尺を使って，近似値で計算しました(現在のような座標計算ができるのが不思議なくらいです)．水準測量もYレベルで国道の一等水準点から6,000mを１週間かけて数回往復して実施しました．

坑内測量は，基本的にはセンター測量を20m間隔で必ず測芯で行い，ダボ(測点)は軌条設備(等３線軌条間，軌間914㎜)内の松葉Y型(導坑)，N型，X型(上半・大背・土平)掘削ずり出し(バッテリーロコ12t＋鉱車)，覆工・側壁コンクリート打設(バッテリーロコ10t＋アジテーターカー＋中山グッドマン：プレスクリート)などの枕木間に設置しました．このため，測量は作業休みの昼休み時間か昼夜交替時間しかできず，食事をするのは午後２～３時で，これが２年半ほど続きました．全休日は１か月に１回で，その日は基本測量のチェックを行いました．唯一の休みは盆休みか，正月休みしかなく，来るのが待ち遠しかったことが思い出されます．昼は企業者との検査立合い，ダボ測点の延長，切羽の測芯出し，水準点の延長，腰線出しで，しかも導坑，上半，側壁，

アーチコンクリートの４か所の掛持ちでした．測量手元に機械の据付けなどを早期に覚えさせることが自分なりの施工管理だったと記憶しています．勤務時間の夕方５時を過ぎれば，当日測量結果のチェック，測量器具の掃除と整備，企業者提出書類の作成，日常出来高(進捗)記録の作成で，毎日夜９時ぐらいが日常生活でした．唯一の楽しみは１日，15日の山の神のときにお神酒をいただくことでした．その日は残業もせず夕方が待ち遠しく，そわそわしたものでした．

私が担当した都夫良野トンネル上り線の坑口は，全面切取り掘削で硬岩地山の坑口掘削でした．そのため，坑口切取り発破掘削時には民家が近くにあるため，ドーム型に民家を囲い，住民の方には街のアパートに仮住まいをしていただき，トンネル掘削が200m進捗した時点で帰宅していただいた記憶があります．当時は地元もたいへん協力的でした．

主要地質は角礫凝灰岩で安定した地山でした．部分的に破砕帯や大量湧水区間(L＝100m)が見られましたが問題なく掘削できました．また，地上測量の結果による誤差が40～50cmだったため，貫通誤差が何cmになるのか，内心ドキドキしながら隣接工区(延長が短いため，早期到達)の上半切羽に向かって削孔しました．職員，作業員のうち，誰の示した位置にノミ孔が空くか楽しみでした．誤差は偶然にもセンター１cm，水準測量－２cmで，測量にも自信がつきました．

主任との年齢差が15歳ほど離れていたので色んなことを教えてもらいました．とくに，地元の方との接触のしかたは勉強になりました．この現場では工事用道路として使用する町道が狭く，カーブ区間を拡幅できなければ大型機械や鋼製支保工などの搬入ができず，工事の中断を余儀なくされるところでした．しかし，地主のもとへ上司が毎日，毎日根気よく通いつづけた結果，「今日神様のお告げがあったから工事に取掛っても良い」と地主から連絡があり，次の日から昼夜作業で早期に完成することができました．こういったことも上司と地主の信頼関係が強い絆で結ばれているようで，自分も先輩のような技術屋になりたいと実感しました．

吾妻山トンネルは，発進側坑口がスコリア層(富士山の噴火火山灰)で覆われていたため，サイロット側壁導坑の木製支保工でL＝30m施工し，悪戦苦闘しながらも工事は順調に推移しました．これも熟練した坑夫が配置され，諸先輩の経験豊富な技術力があってのことだと痛感しました．

トンネル延長が短いため，下り線側から上半掘削完了後，覆工コンクリートを施工し，大背・土平の掘削を完了させ，その後，上り線側上半掘削を行い，順次完成させました．当時は，路盤工(コンクリート舗装)，側帯工，内装工，天井版工，換気塔工，換気ダクト工なども施工しましたが，とくに悪戦苦闘したのは内装，天井版取付け墨出し測量でした．1,000m墨出しするのに１か月半以上もかかりました．建築屋の仕事のようでしたが，非常に勉強になった気がします．

この工事は東京-大阪間の高速道路建設の最終開業区間ということで，短期間で施工した経緯があり，たいへん苦労しましたが，やりがいのあった現場であったことは確かです．よく所長が訓示として言っていた「問題意識をもって問題解決に当たれ．失敗は成功のもと．やる気があれば何でもできる．」という言葉が，その後の工事にたいへん参考になりました．

国鉄 生麦トンネル　L＝400m

生麦トンネル工事は，小田原-鶴見間の旅客混雑解消のため，貨物輸送を東海道線から別線として建設する工事でした．山岳工法のトンネルとは違い，明かり掘削でボックスカルバートを施工したのですが，たいへん特徴のある工事で，東海道線，京浜東北線，貨物線，高島線の各上下線８本の線路の下を斜め横断するという，難易度の高い工事でした．

各上下線構造物を完成させたのち，線路を移動してから次の施工を進めるのですが，線路間の工事であり，地上の作業は夜間作業(線路閉鎖工事)で，地下施工(掘削，構造物作成)は昼間作業で行い，既設の踏切(生見尾踏切)を一般者と共用しながらの作業でした．構造物をひし形に施工するので，１ブロックで直角方向に構造物が作成できないということで，たいへん苦労しました．また，この工事に伴い８本の線路を横断する３つの歩道橋を施工しました．施工は夜間工事で柱基礎(深礎工)，桁架設，スラブ床板架設を行い，昼間作業で高欄架設を施工しました．一度，高欄桁(20kg/１本)を落下させ電車を停止させてしまい，運転手さんと同行して停車場まで行って謝ったのが昨日のことのように思い出されます．この工事は企業者の国鉄技術者と一体となり，毎日が緊張の連続で，気の休まることのない現場でした．

国鉄　武蔵野南線 生田トンネル　L＝890m

武蔵野南線生田トンネル工事は鶴見・八王子・武蔵野西線で東京駅まで結ぶ貨物専用線で，都内に貨物を通過させないよう計画されたと記憶しています．

工事内容は，立坑H＝35m，横坑L＝80m，本坑L＝890mであり，矢板工法による側壁導坑先進上部半断面工法で，掘削は機械掘削方式，ずり出しはレール方式を採用しました．主要地質は，立坑が関東ローム層，横坑・本坑が土丹層・砂層の互層でした．掘削機械はロードヘッダーS-45×３台，ずり運搬用シャトルカー×２台・バッテリーロコ×２台を使用しました．

掘削中の問題は砂層からの湧水が多く，鋼製支保工の変状が大きいことと，土かぶり15.0m付近の地上には民家や公営アパートが点在しており地表面沈下も予想されました．そのため，対策工として，地山と鋼製支保工(矢板，鋼製支保工)間に袋詰め注入工法(企業者所長の考案)を実施した結果，地表面沈下も収まり安堵した記憶があります．

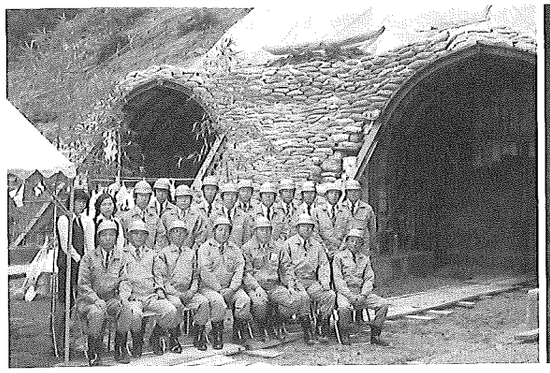
この現場は多摩川沿いに平行した路線で丘陵地帯を貫き，民家などの建物が多く都市土木的な工事でした．発進立坑の位置が決まらず，たいへん悩みましたが，現場近くの県緑地課に挨拶に行くと，県が地元の希望で多摩川に運動公園を造成するのに土砂(関東ローム)が必要であるということで，お互いの要望が一致し，とんとん拍子で解決しました．

トンネル路線がゴルフ場やビルの下を通過していましたので，基本測量をどうするか悩みました．測量会社に委託したら本線上を測量しなくても座標計算機械(計算機は15万円，シンガポール製)を使用すれば測量できると言うので，びっくりするやら，ほんとうに測量できるのか心配だったことを思い出します(現在では当たり前ですがね)．また，立坑(直径φ10.0m)間でセンター測点を下ろしましたが，なかなか下げ振りが定まらず，たいへん苦労しました．ピアノ線や下げ振りの錘を油槽に漬からせることで下げ振りを安定させ，測点を下ろし，横坑と本線測点をチェックした記憶があります．基本センター測量は昔ながらの構造物センターに測芯でダボ(測点)を設置する方法でした．10mの線間で掘削方向を決め，約900m間掘削するのですから，心配で心配でチェック測量をくり返しました．

施工にあたり，トンネル本線がゴルフ場のホールの真下にあり，ホールの大池の水位が低下する心配がありましたので，毎日水位測定を行いました．あるとき，私は当時ゴルフをしていませんし，当然ルールも知らなかったのでフェアウェイを横切って水位測定を行ったら，ゴルフ場のお客さんから苦情があったと事務所に連絡が入りました．それ以来ゴルフのルールを勉強し，ゴルフ場の関係者にも指導していただき，自分も貪欲に事務所のトリカゴで練習したことが思い出されます．また，ゴルフ場でプロ競技(ロレックストーナメント)が開催されたときは，立坑が隣接しているため，工事を２日間中止せざるを得ませんでしたので，立坑用地を来客用の駐車場に利用してもらい，地元への貢献に役立てました．とくに，ここでは，何事にも貪欲にチャレンジすることを学んだ現場でした．

上越新幹線 月夜野トンネル(石倉)工事 L＝3,470m，横坑L＝800m

現在の上毛高原駅より北に5.0kmの地点で横坑のある石倉側を担当しました．主要地質は，角礫凝灰岩，緑色凝灰岩，破砕帯(グリーンタフ，膨張性モンモリロナイト含有)でした．施工は矢板工法による底設導坑先進上部半断面工法で，掘削は発破方式，ずり出しはレール方式でした．それぞれの機械編成は，底設導坑の削孔はレッグドリル，ずり積込みはRS-95型ロッカーショベル，ずり運搬はバッテリーロコと鉱車6.0m³×２缶の２編成とし，上半掘削の削



月夜野トンネル水上口坑口安全祈願祭



月夜野トンネル本坑軌条設備

孔はレッグドリルとダンプジャンボ，ずり積込みはドーザーショベル，ずり運搬はバッテリーロコと鉱車6.0m³×4缶の2編成としました．土平・側壁掘削は削孔にレッグドリル，ずり積込みにドーザーショッベル，ずり運搬はバッテリーロコと鉱車6.0m³×4缶の2編成としました．また，覆工コンクリートの打設はバッテリーロコとスクリュークリートの2編成で行いました．

施工中，朝，底設導坑内を通過した車両が夕方には鋼製支保工に接触して通行不可能となる箇所が生じたり，上半部の逆巻きアーチコンクリートを打設しようと巻立て用内空検査を行った後，打設日には巻厚不足が生じたり，坑内の変形が激しく，かなりの区間で同様の現象が発生しました．現在の計測機器があれば早期発見，早期対応ができたと思われます．

工期の遅延状況から，2年経過した後，石倉側の施工方法を側壁導坑先進工法に変更しました．また，出口側坑口(水上口)からの工事については，石倉側施工の教訓を生かし，側壁導坑先進上部半断面掘削工法に切替えて施工しました．その後，工事も順調に進捗し，本坑中間地点L＝1,735mで貫通しました．

隣接工区の掘進が近づくにつれて，石倉側のアーチ天端の覆工に変状が発生しました．逆巻き工法の弱点である側壁・アーチ部分に施工ミスがあったのではと調査しましたがミスはなく，膨張性地山の影響とわかり，企業者より，再度アーチ構造物の縫返し工事L＝50m，およびロックボルト補強工L＝40m工事を発注していただき工事に着手しました．

側壁部は鋼製支保工(H-300)で補強し，路盤工の突起コンクリートも完成していたので枕木で防護し，アーチコンクリートの解体にかかりました．H-200の鋼製支保工が飴のように変状し，コンクリート面に段違いが最大で約9cm発生し，膨張性地山の変状の物凄さを感じました．3か月の短い期間で施工しなければならず，コンクリートの取り壊しに大型機械が使用できず，ハンドブレーカのみでしたが，コンクリート解体工の技術が優秀で，危険を顧みず施工に協力していただき，無事施工できたことに感謝しています．

ちなみに，東京から陶芸家がトンネル近くの実家に来ているとき，当現場のトンネルずり捨て場から道路面についた掘削土を見て，これは陶芸の材料に最適だということになりました．ということは粘性土地山であり，トンネル施工には最悪の地山条件ということです．しかし，皮肉にも貫通式の記念品に「月夜野焼き」が用意でき，たいへん豪華なものになりました．当現場では，職員・協力会社が一体になって突き進みましたので，現在30年経ってもいまだに職員同士で年に1回，現地での思い出話に花を咲かしています．

三沢川分水路　稲城トンネル
L＝440m，立坑H＝25m

本工事は，東京都稲城市の多摩ニュータウン造成に伴い雨水・排水が大量に三沢川に放流されることにより，下流部の護岸より氾濫が予想され，過去にも大雨・台風時に，たびたび民家に浸水した経緯があって，日本住宅公団(現 都市再生機構)が三沢川から多摩川に分水するトンネル工事を発注したものです．工事は，トンネル総延長約3kmを5工区に分割して発注されました．そのうち，私が担当したのは上流から3工区目の工区です．

施工方法は生田トンネルと同様に，矢板工法による側壁導坑先進上部半断面工法の機械掘削方式で，レール工法を用いました．側壁導坑は手掘り掘削で，ずりの積込みはRS-95型ロッカーショベルに補助ベルコンを取付け，上半掘削は手掘りのリング掘削，核部分と中背掘削はバックホウにて施工しました．

掘削断面積は150m²の大断面で，覆工巻厚は80cm以上でした．主要地質は稲城砂層で，地下水位が高かったため，トンネル両側に20m間隔で左右千鳥にφ300㎜鋼管のディープウェルを20本，最大深度40m，最大ポンプ7段式の縦型で施工し，トンネル掘進に先行してポンプを稼働してトンネル内の地下水位を低下させました．自然排水では地山状況，地下水位の関係から早期運転を開始しなければならないため，バキュームディープウェルを併用することで，短期間での運転が可能となり，コストダウンにつながりました．井戸工事は小高い山に設置する仮設の施工で，しかもトンネルがカーブしているため，仮設資機材運搬用の索道設置に苦労しましたが，索道専門会社の技術力には関心させられました．

観測井の水位低下状況を監視しながらトンネル掘進に取り掛かり，立坑からの発進坑口側は薬液注入で地山を補強したのち開始しました．坑口部の80m間は左右の側壁導坑掘削に軌条設備が設置できないため，ずり出しにはベルコンを用い，一次巻き側壁コンクリートを左右完了させたのち，上半掘削に取り掛り，中背掘削後，軌条設備を行いました．その後，側壁導坑掘削を再開したものの地下水位が低下せず，側壁足元にウェルポイントを施工して地下水低下を図り，流砂現象をなくすよう努めました．各掘削の切羽部には湧水がないと地山自身に粘着力がないため肌落ち現象が起き，上半掘削時においては核残しをしながら慎重に施工しました．

覆工コンクリートは原爆型に施工にしたことにより，アーチ側壁間にジョイントを作らず，漏水の原因を極力避けることができました．また，強風時は黄砂が舞い散るような作業環境で，事務所は戸締りをしているものの，机の上が埃だらけで，パソコンなどが故障しないか心配したことが思い出されます．

常磐自動車道
諏訪大久保トンネル工事
L＝3,490m
(諏訪第一　L＝2,100m
諏訪第二　L＝　350m
大久保第二　L＝1,040m)

このトンネルは共同企業体工事で6本のトンネルを各社上下線に分かれて施工し，私は下り線を担当しました．矢板工法による上半先進工法で，掘削方式は発破方式を用いました．主要地質は石灰岩と緑色片岩で，地表部にはドリーネ(カルスト地域に見られる漏斗状の穴)も発達していました．また，一部土かぶりが小さいトンネル区間には，崖錐堆積物もありました．

発進側坑口は諏訪第一トンネルと第二トンネル間でしたので，短い諏訪第二トンネルから掘削を開始しました．坑口部を40m掘削した時点で地表面沈下，上半鋼製支保工の沈下，矢板の大幅な変状が発生したため，鋼製支保工の補強，坑口押さえ盛土を行い，坑口を延長してトンネル下部に鋼製杭を施工して地滑りと沈下防止対策を実施しました．その間，工事遅延が懸念されたため，諏訪第一トンネルの掘削を開始しました．

第二トンネルの教訓から，坑口から30m間は側壁導坑先進工法により上半鋼製支保工の沈下防止に努めました．

諏訪第一トンネル，および大久保第二トンネルの地質は石灰岩が主体で，トンネル本線上に地元業者の石灰採掘権があり，毎朝業者に土捨てするか石灰材料として使用するか判断していただいた後，不要材のみ土運搬をJVで実施することになりました．ただし，上下線で切羽位置が異なるのに，ずり捨場は同一場所でしたので，ずりの仮置き場の確保にはたいへん苦労しました．トンネル内の切羽では，小さな鍾乳洞らしき空洞が点在し，そこには赤土や水が溜まっていましたので，掘削土砂とコンクリートで穴埋めし，トンネル下部に空洞がないか探査器で確認し

ながら掘削しました．また，側壁導坑部下部に大穴が発見され，約100m²の掘削土砂と生コンを投入し閉塞しました．

諏訪第一トンネルでは破砕帯が40mにわたり発見されました．通常は下半掘削の施工は大背掘削後アーチコンクリートの脚付け部を先行施工しますが，大背掘削をするとアーチ部の覆工が沈下や変状をきたすため，上半掘削盤より壺掘り掘削を行い，脚付けコンクリートを左右千鳥に施工して，アーチコンクリートの沈下を抑止しました．

このころから油圧機械が開発され，当現場も上半掘削の削孔機械にエレクタ付きドリルジャンボ2台を用い，ずり積込みはサイドダンプで，タイヤ方式によるずり出しを採用しました．私の経験の中で，タイヤ工法を用いた最初の現場となりました．それにより，坑外設備は大幅に縮小できたことが思い出されます．

当現場は，路盤コンクリート舗装工は別発注でしたが，発生ずりを再利用することになったため，当工事のずり仮置き場（インター設置箇所）で砕石を作成しました．

付近には長短のトンネルが20本，橋梁や明かり土工，舗装工などなどが施工され，ゼネコン各社が集まっていたことから，みなさんとの技術交流，懇親会，安全協議会などを頻繁に実施していました．

当自動車道が開業して25年になりましたが，昨年まで年に1回，企業者の方を含めた親睦会を開催していました．当時，私は若手でしたので，先輩たちの人間関係の話や技術的指導を受けたことは，その後の私の大きな財産になったことは言うまでもありません．

国道254号　内山3号トンネル
L＝440m

内山3号トンネル工事は延長L＝800mで，群馬県から長野県にほど近い丘陵地帯を貫く典型的な山岳トンネルによるバイパス工事で，すでに，群馬県側は他社において矢板工法により完成していました．当現場は，建設省関東地方建設局（現 国土交通省関東地方整備局）における最初のNATMの採用で，私たち職員も企業者の方もみな初心者でしたが，トンネル専門業者である下請業者が経験豊富だったことがなにより心強く感じました．

坑口前は長さ100mの橋梁が施工済みであったことから，工事用仮設備を設置するのがたいへん困難で，とくに吹付け用バッチャープラントの設備用地がなく，企業者と協議し，地元の生コンプラントに委託し，当社で骨材ビン（15㎜）を設置したうえで，空練りでミキサー車に運搬してもらい施工しました．坑口上部には2t程度の巨礫があり，トンネル発破振動で国道に落下する危険があると判断し，落石防護工として，ワイヤーで周辺岩盤や立木に固定し，国道を一時通行止めにして発破を実施しました．主要地質は角礫凝灰岩と緑色凝灰岩などで，下り勾配の掘削（－5.0%）でしたが湧水もほとんどなく，順調に掘削できました．

この現場で苦労したことは，何と言っても生コン工場が民家に近く，吹付けコンクリートの材料が夜間10時以後に練ることができず，サイクルの見直しなど，試行錯誤しながら施工したことでした．

道央自動車道　鷲別トンネル
L＝1,789m

このトンネル工事は登別市から室蘭市に跨がる工事で，起点側はすでに開業していました．主要地質は火山灰質泥岩でした．NATMのショートベンチカット工法で，掘削方式は機械掘削，ずり出しはタイヤ方式で行いました．主要機械は，上半掘削にロードヘッダS-90，ずり積込み機はホイールローダ955S，ずり運搬は10tダンプを使用し，明かり盛土区間に土捨てを行いました．

当現場では，大量湧水区間が多く，路盤確保にたいへん苦慮しました．上半盤にも路盤を確保するため，センター付近に仮排水暗渠を施工することにより路盤を確保し，必要以上に敷鉄板を施工することなく進捗できました．しかし，坑口よりL＝1,000m付近において，切羽より200m後方で上半吹付け面に延長L＝60m間で左右両肩にクラック（3～5㎜）が発生したため，巻厚確認後，増しロックボルト・増し吹付けで補強しました．その後，計測した結果，変位は収束していることを確認できました．このクラックを発見できたのは，路面をきれいに整備していたため，吹付けコンクリートの破片が路面に落下しているのを発見できたからでした．常にトンネル坑内を整理整頓し，現場内を片付けることが大事であることを再認識しました．

私は昼夜作業交代時の作業休止中は必ず現場内を巡回することにしていました．作業中にはわからない，いろいろなことが見えてくるからです．切羽・支保（鋼製支保工，吹付けコンクリート，ロックボルト）の変化・変状などが発見でき，また，資機材の不足，無駄，整理状況が把握でき仕事をするうえで大事なことだと思っています．

現場の濁水処理設備から放流する河川の下流は公園内を通過するため，処理水の管理監視に神経をすり減らしました．このことも休憩中の巡視が必要だったように思えました．

北海道の現場で貫通後，とくに冬期間覆工コンクリートを打設したため，養生管理にたいへん苦労しました．坑口に仮壁門扉を仮設し，セントルには本設養生シートを取付け，品質管理に努めることにより覆工にクラックが発生することなく工事を完成することができました．

国道127号高規格道路
鋸山トンネル　L＝1,551m

このトンネルは千葉県木更津市から館山市を結ぶ高規格道路のうちで最長のトンネルで，標高200mの鋸の歯の形をした山を貫く自動車専用道路でした．この山は古くから江戸城や大名屋敷などの基礎石として利用された採石場であり，程よく軟質で整形しやすく，水分を含んでも形崩れしない岩と言われ，土台石として使用されたと聞いております．現場近くの岩盤面には大型の立像・座像の観音様がそびえ立ち，観光客を楽しませています．主要地質は砂岩主体であり，土かぶり15m上に町営給水ダムがありました．このダムの水を抜くようなことがあればたいへんな問題が生じることから，当初，調査坑と湧水対策のための底設導坑先進工法がトンネル延長の約半分（約800m）に計画されていました．

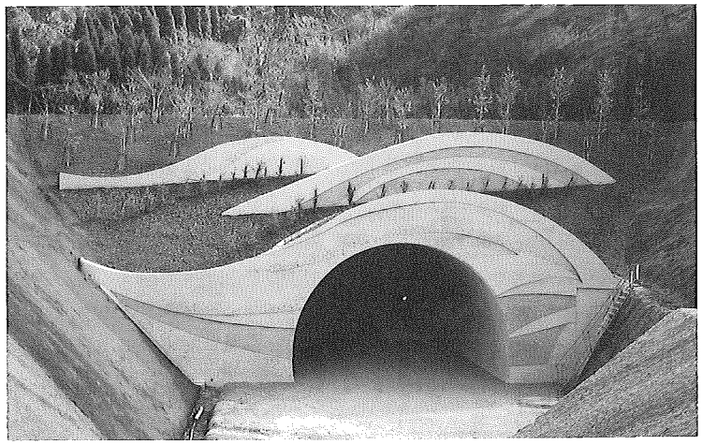
企業者，本社トンネル設計部，各専門業者で検討した結果，導坑内の対策工は作業性も悪く，工期遅延にもなり，導坑NATMの支保工撤去などには産廃処理，導坑内の仮設備切替撤去など非常に厳しく，また上半掘削時の路盤確保（導坑天端土かぶり80cm）など安全性にも問題がありました．

対策として，ショートベンチカット工法の機械掘削方式に変更し，上半盤で切羽の左右両側前方にジャンボによる調査ボーリング（L＝40m）を行い，穿孔時のスライム，湧水量，水質調査（ダム水質との相違）を実施しました．また，計測Bを増設して施工管理し，問題なく施工できました．最終的には大幅なコストダウンになり，企業者より減額になる設計変更を提案されたのは初めてであると言われ，お褒めの評価をいただきました．竣工時の最終評価も良くなったのも言うまでもありません．

下の写真に示すように，この道路は観光目的の車両が多く利用されることから，景観の素晴らしい房総の海を連想させる坑門工になっています．ただし，施工業者としては難易度が高くたいへんだったのが思い出されます．

成都国際トンネル会議調査団
平成2年8月31日～9月13日
（14日間）

鋸山トンネル工事施工中に，日本トンネル技術協会主催の中国調査団に参加することになり監理技術者の一時代理変更願いをしてい



鋸山トンネル木更津川坑口部

ただきました．

① 上海地下鉄，河川横断トンネル見学
② 成都：国際トンネル会議参加：5日間(ITA総会，作業部会)
③ 都江堰見学
④ 広州地下鉄見学
⑤ 香港大老山トンネル見学

参加者46名という大所帯での参加でしたが，他国の工事の進め方，安全に対する考え方が異なり，非常に勉強になり，参加者の方たちと企業間の隔たりもなくトンネル屋として意見交換したことが私の財産になりました．

東北新幹線
岩手・一戸トンネル(摺糠工区)
L＝4,110m，斜坑：L＝1,200m，
勾配平均12%

この現場で私は4年7か月ぶりにトンネル工事に従事することになり，気が引締まる思いでした．本社ではトンネル担当部署にいっとき在籍していましたが，何と言っても現場の雰囲気は特別です．胸がときめき，そわそわしたり，悩んだりしたものでした．先任たちが築いた現場でしたので，本坑工事を担当する自分としては，何とか成功させなければという気持ちで頑張ったものです．

当時，岩手トンネル(L＝28.3km)が完成すれば世界一の陸上鉄道トンネルになるということで，技術屋の誇りや責任感などでたいへんな毎日でした．また，赴任時が11月ということから寒さ対策にも苦労しました．担当工区は6工区に分かれた盛岡側から2工区目のトンネルでした．

本坑トンネル工事の施工方法はNATMによる補助ベンチ付き全断面工法の発破掘削方式で，ずり出しはタイヤ方式により，斜坑交点から盛岡側L＝2,730m，青森側L＝1,380mの両切羽同時施工で行いました．坑内で使用するすべての機械設備は両切羽で兼用できなかったことから大所帯での現場となり，宿舎設備なども2現場分必要となりました．

このうち，たいへん苦労したのが1,200mの斜坑を本坑の両切羽で使用するため，インバート路盤コンクリート，覆工コンクリートの同時施工となったことです．できるだけ車両の混雑を緩和するため，大型の重ダンプを採用し，最小限の車両の運行に努めました．

失敗談ですが，できるだけ設備を一本化するために大型ポンプ1台(予備1台)で施工を開始したのですが，坑内排水は清・濁分離していても斜坑では，1系列となるため，濁水によるポンプの損傷が激しく，青森側切羽が水没し工事を一時中断(1日昼夜)したことが数回ありました．排水ポンプ自体注文生産のため，修理するのにも時間が必要で，斜坑掘削時に使用した200mに1か所ある釜場を使用し，リース会社などにある水中ポンプを配置すべきでした．

また，坑内換気設備が膨大な設備になるため，交点から盛岡方80m付近に地上よりφ4mの立坑をレイズボーラによる機械掘りで施工しました．この立坑に吸出し方式の換気設備を設置し，斜坑・本坑送気式としました．しかし，両切羽で工事が進捗しているため，換気の流れがうまくゆかず，苦労の連続でした．この立坑掘削はトンネル本坑横に横坑8.0mを先行し，地上よりφ200㎜のボーリングにて横坑までパイロット孔を貫通させ，下部よりφ4.0mの拡幅掘削用リーミング機を取付けて施工する予定でした．しかし，地下40m付近で多量の湧水と軟弱地盤に遭遇し，立坑の坑壁が自立せず崩壊したため，ロッドを残したままリーミングビットを切断し，引き上げながら崩落箇所の注入(セメント)を行い，再度下部より立坑掘削を開始し，約1か月の遅れで立坑換気設備を完成させました．反省点は掘進のスピードと坑壁を安定させるための材料とが合っていなかったことが原因と思われ，今後このような施工があれば慎重に施工するように心掛けたいと思います．

トンネルの掘削は順調に推移していましたが，東京方の1,600m付近において切羽から50m後方で支保工の変状が発生し，縫い返しを実施しました．この部分は支保パターンの変更点で計測結果から変位が大きいと判断をしていましたが，設計どおりのパターンで施工しました．やはり計測結果だけでなく，切羽の目視観察状況，湧水量，亀裂などの判断と切羽の坑夫からの聞き込みも重要であると感じました．

青森方では900m付近で正月休み後，作業再開した初日に切羽天端より崩落し始め，約300m³が崩落しました．東京方の掘削ずり，および坑外のずりを搬入し，押さえ盛土を開始し，表面を吹付けコンクリートで囲った後，裏込め注入(モルタル，ミルク)を行い，地山に空隙のないことを確認してトンネル掘削を再開しました．破砕帯幅は約4.0mでさし目であったことが確認されました．運よく年末の工事がこの場所で終わり，進行が早ければたいへんな時期に発生したと思えば，不幸中の幸いだと胸をなで下ろしたのを昨日のことのように記憶しています．この付近には国営の治水ダムが建設中で，HWLが近接しており，漏水対策などの品質管理面に注意を図り，品質・施工・安全管理に努めました．地元はたいへん協力的であり，当現場もお祭りなどに積極的に参加し，とくにノミュニケーションには全力投球したことが思い出されます．地元の協力なくして工事が進まないのが絶対条件でありました．



岩手一戸トンネル(摺糠工区－火行工区貫通式(著者：右から2人目)

国道103号道路改良
宇樽部トンネル　L＝700m

この工事は，県発注の工事で延長L＝1,200mのうち，1期工事がすでに完了しおり，残りの700mのバイパス工事を施工するものでした．主要地質は軟質な砂岩で，一部安山岩が分布していました．施工はショートベンチカット工法の機械掘削方式で，ずり出しはタイヤ方式でしたが，地質調査の位置の違いにより硬岩部分の延長が多くなり，発破方式に変更することとなりました．

国立公園内で発破方式へ変更することはたいへん難しかったものの，環境省，企業者の協力により無事掘削方式を変更して施工することができました．工事は順調に進捗していましたが，停年退職となり，途中ではありましたが後輩にバトンタッチしました．その後，無事故・無災害で良質な施工管理に努め，無事竣工したと聞き，ほっとしたところです．

トンネル登録基幹技能者育成について

私は停年後，トンネル経験者としてトンネル専門業者に再就職して10年経ち，現在に至っています．

現在，トンネル工事の発注は減少傾向ではありますが，それ以上にトンネル工事の従事者が不足し，さらに高齢化が進んでいるのが現状です．国土交通省は平成7年に「建設産業政策大綱」の中で基幹的技能者の育成を提言しています．トンネル専門協会は，平成13年度よりトンネル基幹技能者育成委員会を発足し，平成15年度よりトンネル基幹技能者認定講習を開催し，平成17年度には第1回認定講習を開催しました．これまでに9回開催され，合計209名の認定者を排出しました．平成20年度より建設業法施行規則の一部改正を行い「登録基幹技能者制度」が発足しました．

私はトンネル登録基幹技能者育成に努力しています．これまでに約419名(平成25年2月現在)のトンネル登録基幹技能者が試験に合格し，各現場に配置されています．この資格は5年ごとに更新する必要があり，さらにトンネル登録基幹技能者不足でありますので，今後も登録基幹技能者の講師として，今までの経験を生かし微力ながら努力したいと思います．今後も皆様の御支援と御協力をお願いする次第です．

あ と が き

私の経験談をありのまま書いて

みました．現在の施工方法とは異なる矢板工法が半分以上ありました．

昔と現在では施工スピードが違うと思いますし，皆さんの参考になるかわかりませんが，大型機械の開発と油圧機械の発展，測量機械の改良，計算機，パソコンなどの最新機器が開発されてきましたが，とくに現在，測量などのミスが目立ちます．これは現場技術者が記録を取らないことが習慣となり，現場で計算機を使用してチェックする方法を指導されておらず，基本測量も外注業者にまかせればそのままで，自らチェックすることを忘れているからではないでしょうか．測量ミスによるコストアップは非常に大きなウエイトを占めていることに気付いてないのではないでしょうか．

私はいままで，いろいろなトンネル工事を経験しましたが常に緊張の連続で，他工種にないものとして，支保パターンの変更や補助工法の追加など，変更内容が多いのもトンネル工事の特徴です．

これらの経験から，古今東西問わず昔と変わらないのは，次に掲げる言葉です．

自分自身の６つの気：

①　かがやく活気
②　明るく元気
③　指示する勇気
④　やる気まんまん
⑤　つづける根気
⑥　みんなで和気

人の意見を聞き（とくに若手職員の意見）何事にも失敗を恐れず，部下の失敗は自分のことと思うことが大切です．

また，私の好きな言葉に山本五十六さんの以下のような言葉があります．とくに現場の上司の方に言いたいと思います．

「やってみて　言って聞かせてさせてみて　褒めてやらねば　人は動かじ」

また，誰のいった言葉かわかりませんが，

「努力に勝る天才なし」

非常に厳しい時代ですが，今後のトンネル技術者の相違工夫と努力に期待します．

報　告

土圧式シールド工法の掘削土砂に関する調査結果

首都高速道路(株)技術部技術推進課課長　並　川　賢　治
首都高速道路(株)技術部技術推進課課長代理　吉　川　直　志
首都高速道路(株)技術部技術推進課課長代理　長　田　光　正

1　はじめに

近年，大断面の道路トンネルでは，土圧式シールド工法が多く採用されるようになってきている．

これは泥土圧による切羽の安定性向上とシールド機械・設備ならびに施工管理技術の向上によるものといえる．本工法は，大規模な設備用地を必要としない利点を有する反面，泥土化した土砂の搬送・処分のための改質材使用による工事工程やコストなどに及ぼす影響が課題となっている[1)]．

このため，首都高速道路(株)では土圧式シールド工法による工事の円滑な計画立案やコスト縮減に資する資料の作成を目的とし，日本トンネル技術協会に掘削土砂に関する調査業務を発注した．協会では学識経験者，施工会社，首都高速道路で構成される特別委員会を設け，掘削土砂の観点から国内外の土圧式シールド工事における最新技術の収集・分析を行った．

本稿では，このうち国内の結果について報告するものである．

2　実績調査と整理方法

2-1　実績調査

シールド工事の掘削土砂に関する調査は2000年以降に受注したシールド外径５m以上の国内および国外の工事をそれぞれ抽出し，日本トンネル技術協会の団体会員会社に実績調査への協力をお願いした．なお，掘削土砂の改質，運搬，再利用などに特徴がある工事は５m未満の場合でも回答をお願いした．

実施したアンケート調査の結果，国内で98件，海外で84件の回答をいただいた．

2-2　実績調査結果の整理

土圧式シールド工法は，カッタで切削した土砂を攪拌して流動性をもたせ，掘削面に圧力をかけスクリューコンベヤで排土量を調節し，掘削面の安定を図りながら掘進する．掘削土砂は，ずり鋼車やポンプ，ベルトコンベヤなどで地上に運ばれ，現場サイト内に一時的にストックあるいは改質処理され，処分場へと運搬される．

本工法は，土圧シールドと泥土圧シールドに分けられ，現在の主流は泥土圧シールド工法となっている．この工法は，切削した土砂を最適な不透水性と塑性流動性を有する泥土に変換するため，切羽やチャンバ内に添加材を注入する．

掘削土砂の性状には，この添加材とチャンバ内における切削土砂の攪拌混合，スクリューコンベヤによる排土などのシールド機構および坑内から立坑上への排土設備が大きくかかわる．

掘削土砂の調査にあたっては，掘削から立坑上

までを「切羽安定対策」，現場サイトにおける掘削土砂の搬出のための改質処理・処分と再生利用を「掘削土砂の処分・再利用」，現場サイトから受入れ処分場までの運搬を「土砂の搬出・搬送」として，各項目について調査・分析を行った．

3　切羽安定対策

3-1　添加材

3-1-1　材料の種類

添加材の働きは，掘削土砂の塑性流動性および止水性を高め，チャンバ内で再固結や付着を防止することであり，鉱物系，高吸水性樹脂系，水溶性高分子系，界面活性剤系に分類される．

3-1-2　添加材選定要因

アンケート結果を図-1に示す．単独では土質条件を考慮している場合がもっとも多いが，約半数の実績では複数の要因により選定を行っている．土質条件を主体として，施工の諸条件を考慮した添加材が選定されていると考えられる．

3-1-3　添加材の使用種類

アンケート結果を図-2に示す．添加材の使用種類に大きな偏りはないが，添加量が少なく，作泥設備などが小規模で対応できる高分子と界面活性剤で約50%を占める．また，25%程度の実績では，複数の組み合わせの添加材が使用されている．

3-1-4　添加材注入量の傾向

土質，添加材種類などの考慮なしに，地山に対しての注入率をまとめた結果を図-3に示す．20～30%の注入量がもっとも多く，10～40%で全体の約80%を占める．一般的な注入率は，20～30%と言われていることと，ほぼ同様の結果になっている．ただし，50%以上注入した事例も約10%あり，施工条件により注入量が大きく変わるケースもある．

3-2　シールド設備

3-2-1　シールド仕様

（1）　掘削・混練機構

アンケート結果にもとづき，カッタチャンバ，スポーク形式，スポーク本数を調査した結果，おおむねシールド径に比例することがわかった．その他，カッタヘッド支持形式，開口率，背面攪拌翼・固定翼の設置数，土圧計の設置数，先行ビットの段差，添加材注入口の設置数の結果についてまとめた．

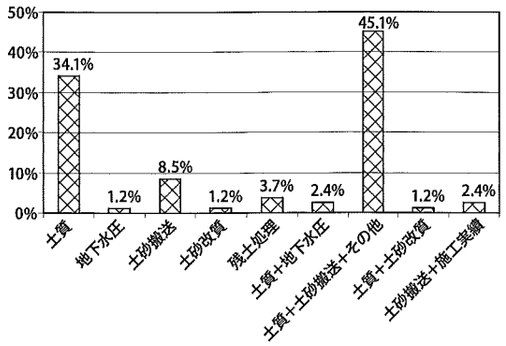


図-1　添加材選定要因

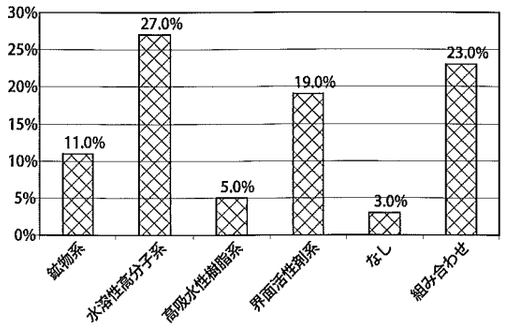


図-2　添加材の使用種類

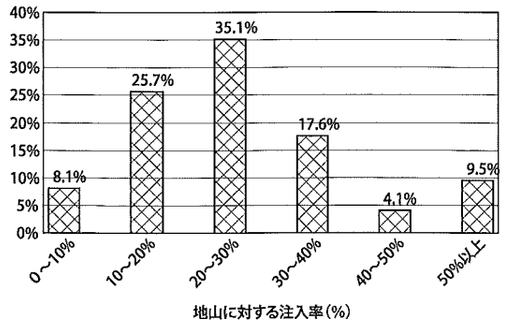


図-3　注入率の分布

装備カッタトルクを図-4に示す．一般的な泥土圧シールドの装備カッタトルクα値は10～25の場合が多く，今回のアンケート結果もほぼ同様の分布となっている．

実績工事で8 kmの超長距離施工2件は，どちらもα値20以上の装備トルクであり，今後の大断面長距離施工の参考にできる．

また，施工時の不具合についても調査を実施した(図-5)．全体の60%では不具合の発生はない．ただし，その他の不具合は10～20%の割合で発生している．とくにシールド外径ϕ10m以上の大口径では不具合発生が70%と顕著である．

（2）　排土機構

スクリューコンベヤの形式と口径，二次的な止水対策，緊急時の対策などを中心に調査結果をまとめた．また，施工時の不具合発生(図-6)は，70%の工事でトラブルなしという結果であった．しかし，閉塞や出水・噴発もそれぞれ16%で発生し，さらに，閉塞と出水・噴発の両方が発生している工事もある．

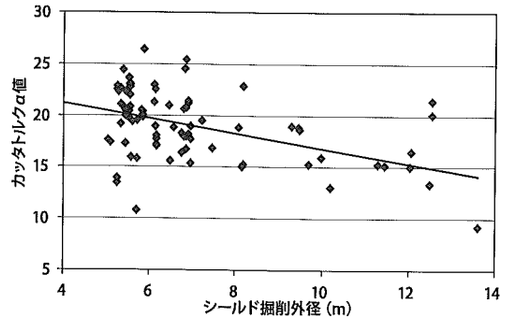


図-4　装備カッタトルク

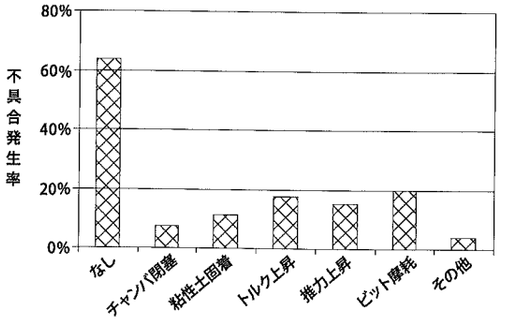


図-5　掘削・混練機構の不具合

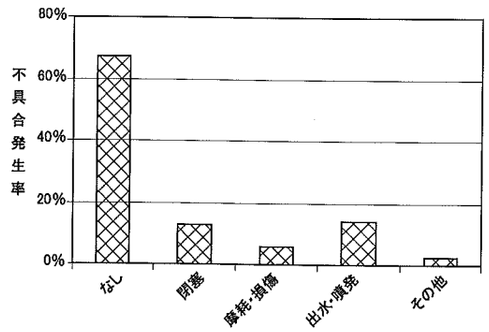


図-6　排土機構の不具合

（3）　推進機構

総推力，実施工時の使用推力，直線掘進時の掘進速度について結果をまとめた．

3-2-2　掘削土砂搬出設備

（1）　坑内土砂搬出方法の調査結果

シールド径の大小やトンネル延長の長短，土質の違いなどについて結果を整理した．

全体としては，土砂圧送が51%と多く，ずり鋼車が24%，連続ベルコンが21%の順に多い(図-7)．

（2）　土砂ストック方法および積込み方法

土砂ピット(地上)が75%と多く，次に多い土砂ホッパーは16%であった．

土砂積込み方法としてはバックホウが73%と多く，土砂ホッパーが18%と次いでいる．

（3）　掘削土砂搬出設備の不具合

全体としては，39%が不具合はなく，大きく分けて閉塞が37%，ベルコントラブルが23%である(図-8)．

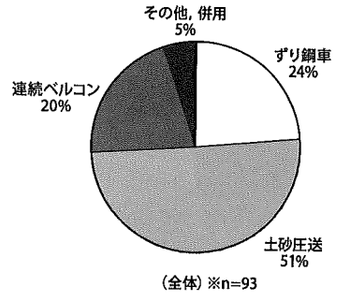


図-7　坑内土砂搬出方法

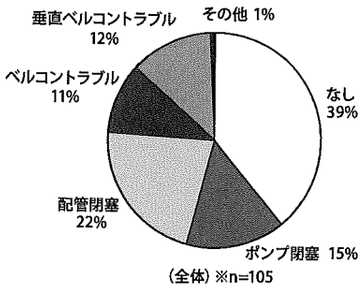


図-8　掘削土砂搬出設備の不具合

3-3　切羽管理手法

3-3-1　切羽圧管理

土圧式シールドの管理土圧は，一般に地下水圧，土圧および予備圧を考慮して設定している．掘進時の管理土圧の設定値に関するアンケート結果を図-9に示す．全般的に採用している管理土圧は「静止土圧＋水圧」がもっとも多いが，シールド外径φ10m以上の大断面では地下水圧を目標にしている工事が2割以上あり，地山の自立性や土かぶりなどを考慮した管理値を採用している傾向が読み取れる．

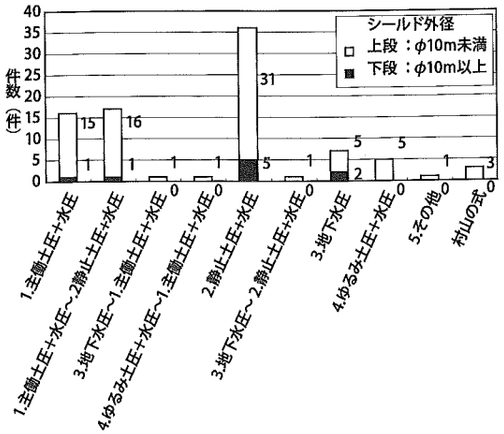
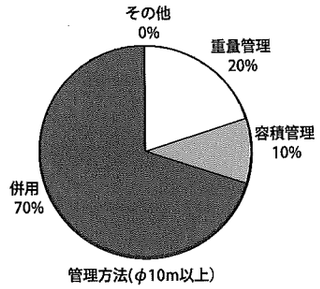


図-9　掘進時の管理土圧の設定値



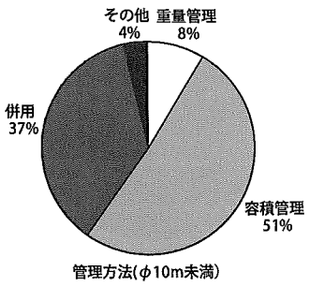


図-10　土量の基本的な管理方法

3-3-2　掘削土量管理

土圧式シールドの掘削土量の管理方法には，大別して重量測定による方法と容積測定による方法がある．土量の基本的な管理方法に関するアンケート結果を図-10に示す．シールド外径φ10m以上では，重量と容積の併用が全体の7割ともっとも多いが，φ10m未満では，容積管理が過半数を占めている．

3-3-3　チャンバ内土砂性状管理

チャンバ内の土砂性状管理手法に関するアンケート結果を図-11に示す．採用が多い手法は，目視・触手が約7割を占め，カッタトルク，スクリュートルク，土圧計の変動，スランプ試験の順に多い．

3-3-4　掘削機構の不具合

掘削機構の不具合の発生率に関するアンケート結果を図-12に示す．不具合発生なしの比率は，シールド外径φ10m未満では約6割であるが，φ10m以上では約2割に減少しており，大断面での不具合発生率が高いことがわかる．大断面トンネルでの不具合は，カッタトルク・推力上昇，ビット摩耗・損傷およびチャンバ内の粘性土固着と閉塞が多い．

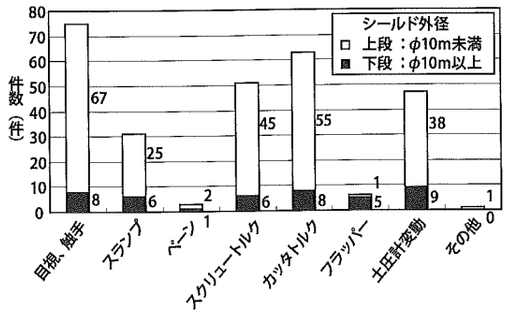


図-11　チャンバ内の土砂性状管理手法

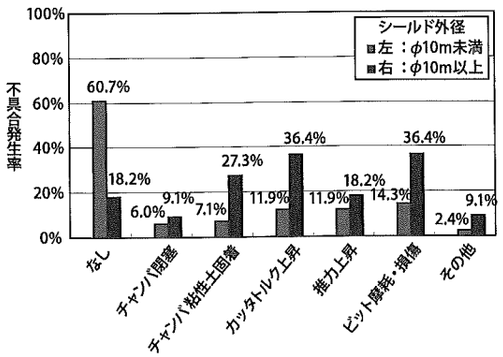


図-12　掘削機構の不具合の発生率

3-4　現状の技術動向と課題

土圧式シールドは，以前は泥水式シールドの適用範囲であった大断面，長距離，高水圧下での施工実績が増加してきている．

一方で，大断面における切羽の安定性確保，チャンバ内閉塞，長距離化によるビットの摩耗・脱落，高水圧下におけるスクリューコンベヤからの噴発といった課題は解決されつつあるものの，一部では依然発生している．今後は，現場条件に適した切羽管理手法の確立，加泥材の開発および機械的な不具合防止機能の開発をより一層推進する必要がある．

4　掘削土砂の処分・再利用

4-1　掘削土砂の取扱いに関する現状

4-1-1　建設発生土と建設汚泥の区分

一体の施工システムに含まれる設備のアンケート結果を図-13に示す．全体としては，ホッパーとピットを一体の施工システム内の設備ととらえているケースがもっとも多い．

4-2　土砂改質処理技術

4-2-1　場外処分土の分類

場外処分土の分類を図-14に示す．汚泥が61件で全体の64%と高く，次に第3，4種建設発生土とつづいている．コーン指数の低い第4種と汚泥で68件と全体の71%を占め，第1，2種で規定されている一般発生土は8件（8%）とわずかである．

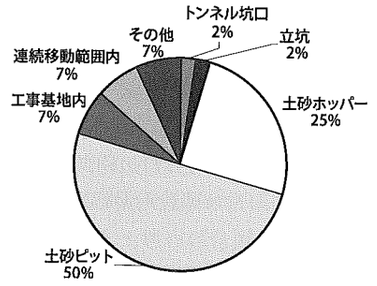


図-13　一体システムの範囲

4-2-2　土砂の改質処理

土砂の改質処理ありが54件と全体の55%を占めているが，このなかで汚泥の改質処理が44%（24件）と高い割合である．これは，土砂運搬における性状を確保するために改質処理を実施していると判断できる．

4-2-3　土砂の改質目的

改質処理の目的を図-15に示す．改質処理を行った54件のうち，土砂運搬の目的のためが31件であり全体の57%を占めている．「4-2-1　場外処分土の分類」において汚泥が64%占めていることから，中間処分である汚泥においても運搬のための改質を必要としていることがわかる．

4-2-4　使用した改質材の種類

使用した改質材の種類を図-16に示す．改質材は，セメント系固化材のみで19件，高分子系吸水材との併用が9件あり，両者では全体の52%を占める．また，セメント系固化材と高分子系吸水材の単独および組合せで考えれば，36件となり全体の67%を占め，改質材の主流であることがわかる．

これは，材料コストが安いこと，また，強度発現における信頼性から選択されていると判断する．石灰・石膏系や焼却灰系の使用は合わせて16件（30%）程度に留まっている．

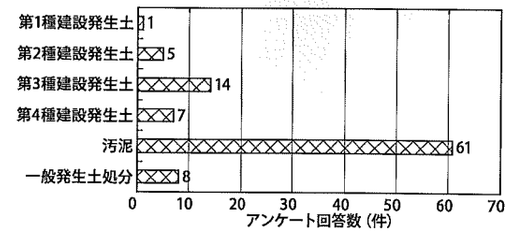


図-14　場外処分土の分類

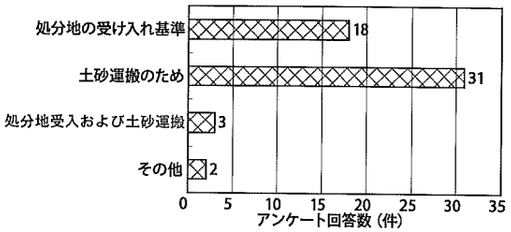


図-15　土砂の改質目的

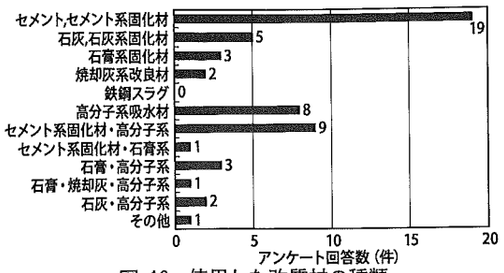


図-16　使用した改質材の種類

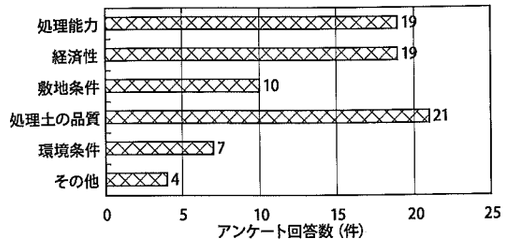


図-17　改質処理方法の選定理由

4-2-5　改質処理方法の選定理由

改質処理方法の選定理由を図-17に示す．改質処理方法の選定理由は，上位から処理土の品質，処理能力，経済性，敷地条件の順である．上位3件の処理土の品質，処理能力，経済性が59件と全体の74%と大半を占める．これは，都市部の狭隘な場所で，早期に品質が確保され，高い処理能力を発揮する改質材，また，処理設備を選択するケースが多いためと考えられる．

4-3　掘削土砂の処分

4-3-1　掘削土砂処分の現状

場外搬出土砂の区分を図-18に示す．36%が建設発生土および一般発生土，64%が汚泥の区分となっている．

4-3-2　場外搬出土砂の最終処分

場外搬出土砂の最終処分先および再利用先を図-19, 20に示す．掘削土砂は直接処分，中間処理業者あるいは最終処分業者を経由し，最終的には建設発生土，汚泥，一般発生土の種類にかかわらず陸地，海上の埋戻しおよび埋立てとして約60%が処分されている．

また，汚泥については，その15%が海洋投棄，10%がセメント原料や流動化処理土材料として再利用されている．

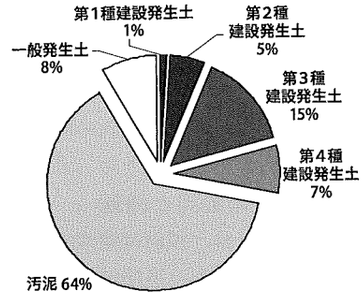


図-18　場外搬出土砂の区分

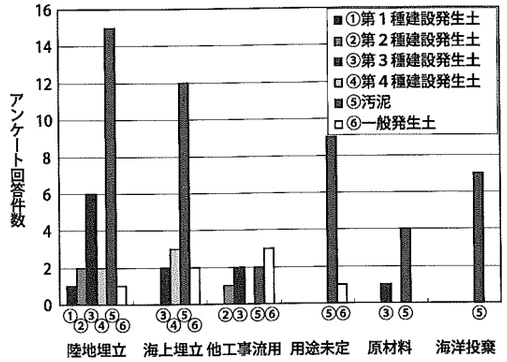


図-19　場外搬出土砂の最終処分先

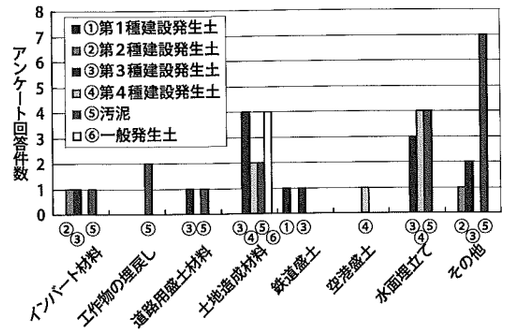


図-20　再利用の用途

4-4　掘削土砂の再生利用

4-4-1　掘削土砂の再生利用方法の現状

掘削土砂の再生利用先に関するアンケート結果を図-21に示す．

アンケートの調査件数は，98件の回答に複数回答3件が含まれるため合計101件である．この結果から，再生利用先は建設汚泥処理土の適用用途標準[2]に該当する項目のうち，土地造成材料12%と水面埋立て12%が多い．それ以外については，工作物の埋戻し，道路用盛土材料，鉄道盛土，空

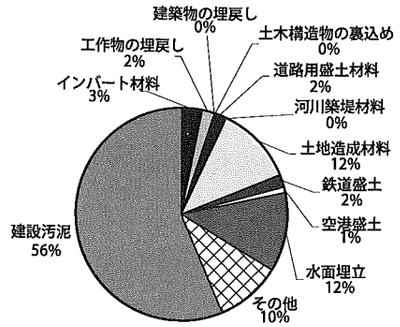


図-21　掘削土砂の再生利用先

港盛土で1～2%程度利用されている．

今回のアンケートにおいて，適用用途標準の項目中で回答数がなかったものは，建築物の埋戻し，土構造物の裏込め，河川築堤材料である．

適用用途標準以外の回答としては，インバート材料が3%，その他10%でソイルモルタル，旧採石場の盛土，プレロード材，セメント工場への受渡しなどがあった．一方，再生利用を実施せずに建設汚泥とした工事は56%の半数以上である．

5　土砂の搬出・搬送

5-1　土砂分類から見た搬出方法

掘削土砂の搬出事例における場外搬出手法のアンケート結果を図-22に示す．

ここでいうコンテナトラックは，建設工事一般において含水率が高い泥状物の運搬に利用される水密式ダンプトラックを示す．また，この種類は，水密式ベッセル車とも呼ばれており，「ダンプトラックにベッセルを積み込んだもの」も回答としてはコンテナトラックとして取扱うこととした．また，今回の調査では，鉄道運搬の事例回答はなかった．

ダンプトラックとコンテナトラックによる搬出での土砂分類を，図-23, 24に示す．

バキューム車・タンク車による搬出はすべて汚泥であり，一般的に言われるように，未改質の汚泥系はおおむねコンテナやバキュームタンク系で運ぶことが多く，それ以外は通常ダンプでという結果が現れている．なお，ダンプトラックにおける汚泥輸送では，改質が前提となる．

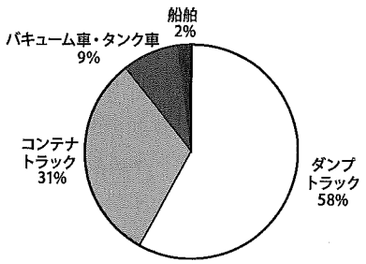


図-22　掘削土砂の場外搬出方法





写真-1　水密式ダンプトラックの例

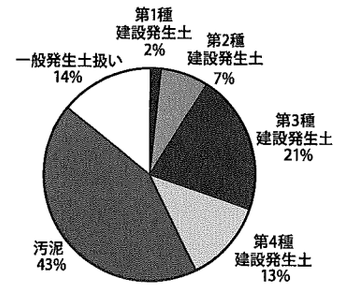


図-23　ダンプトラック搬出土砂の分類

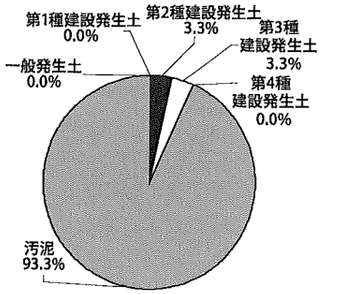


図-24　コンテナトラック搬出土砂の分類

また，船舶輸送における搬出土砂は，第３種建設発生土と汚泥，各々１件の回答であった．

5-2　環境対策から見た搬出方法

搬出時に配慮すべき項目を運搬方法ごとに分類した結果を図-25～27に示す．船舶輸送の場合はこの項目に該当する回答がなかったので除外する．

これらの項目のうち，環境問題に絡む「振動，騒音，大気汚染粉塵」の３パートを束ねた部分では，ダンプトラック，コンテナトラック，バキュームタンク車となるにしたがって比重が大きくなっている．また，これら３項目の合計は，配慮している事項のおおむね半分を占めている．一方，積載荷重や土砂の品質に関する項目を束ねるとその逆となる．これはいわゆるオープン系の車両ほど，これら積載荷重や品質に関する項目をより考慮している結果と考えられる．

コンテナトラック搬出時の配慮事項では，積載荷重がもっとも多く26%であるが，掘削土砂の品質は５%と低い．また，バキューム車搬出時の配慮事項では，積載荷重がもっとも多く30%であるが，掘削土砂の品質はゼロとなっており，汚泥運搬の信頼性の高さが見られる．

5-3　地域・受け入れ処分場から見た搬出方法

施工地域や受入れ処分場に対しての搬出方法を区分した結果を，表-1に示す．この結果からは，運搬方法がとくに地域条件と密接に関連しているわけではないことがわかる．また，受け入れ場所も運搬方法によるというより，土砂区分に大きく関係していることがわかる．

5-4　コスト分析から見た搬出方法

国内の事例で，土砂運搬・処理に関してコストの回答があった結果を表-2に示す．

コストに関しては相当な幅がある．バキューム車やコンテナトラック車は高いという雰囲気が一般にはあるが，一概に言えないことがわかる．これは，当該場所の環境条件，地域特性，車両の運用可能台数などの多くの条件が複雑に絡むためと考えられる．

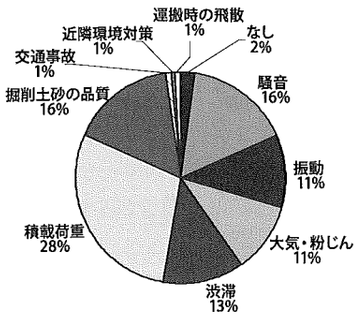


図-25　ダンプトラックの配慮事項

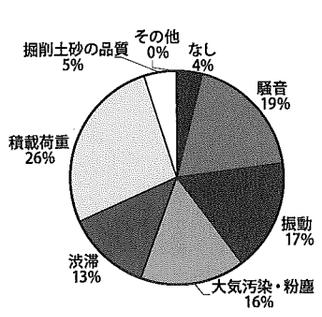


図-26　コンテナトラックの配慮事項

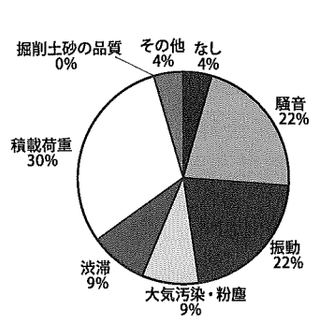


図-27　バキューム車の配慮事項

表-1　施工場所と受け入れ場所と運搬方法

		施工場所（都道府県）															受け入れ場所			
		青森	宮城	茨城	東京	千葉	埼玉	神奈川	愛知	三重	滋賀	京都	大阪	岡山	徳島	福岡	中間	経由	最終	その他
ダンプトラック	汚泥以外	2	6		11			2			1	5	2	1	0	0	1	1	21	4
	汚泥	0	0		0			3			0	0	20	0	1	1	14	3	7	1
コンテナトラック	汚泥以外			0	0			0	0	0		1	0			0	0	0	2	0
	汚泥			2	2			9	9	1		0	4			1	19	4	3	0
バキューム車	汚泥以外				0	0	0		0				0				0	0	0	0
	汚泥				3	2	1		1				1				8	0	0	0
船舶	汚泥以外				1								0				0	1	0	0
	汚泥				0								1				1	0	0	0

（単位：回答件数）

表-2　掘削土量の運搬処理費（円/m³）

項　目	最小	最大	平均	件数	備　考
ダンプトラック	180	10,500	6,795	7	
コンテナトラック	6,000	13,600	8,100	4	ベッセルの２件と組合せ(1+2)の１件を含む
バキューム車タンク車	8,080	8,250	8,165	2	組合せ(２＋３)の２件を含む

注）：船舶は未回答，鉄道は実績なし

5-5　現状の課題と今後の方向性

今回のアンケート結果から，主に車両系による運搬方法の実態がわかった．しかし，今後の大型工事を考えると，環境問題から見て道路車両以外に鉄道，船舶，長距離ベルトコンベヤなどの方法に関しても検討を行う必要が考えられる．とくに，鉄道輸送に関しては，アンケートでは詳しい情報は得られなかったが，土砂や廃棄物などの輸送を行っている事態は把握しているので，大量輸送，環境負荷低減という観点から土圧式シールド工事においても活用の場が増えるものと考えられる．

6　ま　と　め

土圧式シールド工法の掘削土砂について，国内外のシールド工事の実績を調査し，切羽の安定対策，掘削土砂の処分・再利用および搬出・搬送について分析を行った．その結果，現在の技術動向や実態が明らかになり，今後の土圧式シールド工事を設計・計画するうえでの指標として活用できる資料となったと考える．また，今後の課題や技術開発の方向性が見えてきた．

今回，実施した調査・分析によれば，シールド機械・設備の全般的な課題は解決されつつあるものの，排土機構や掘削機構では依然としてトラブルが発生しており，閉塞と出水・噴発，ビットの損傷やチャンバ内の粘性土固着などの改善，土砂運搬や処分地の選択に影響を及ぼす加泥材や改質材の改良は，不具合の防止という観点から必要であることがわかった．また，土砂の再利用や大量輸送を実現する技術開発は，環境負荷の低減やコスト削減という観点から潜在的に求められていることもわかった．このような研究や技術開発が進めば，土圧式シールド工法の適用範囲はさらに広がり，社会インフラの効率的かつ効果的な整備に役立つと考えられる．

最後に，アンケート調査にご協力していただいた関係各団体の方々，ならびに，調査内容や分析結果を熱心にご討議・ご審議をしていただいた日本トンネル技術協会掘削土砂処理特別委員会の委員各位に対し，この場を借りて感謝の意を表します．

参　考　文　献

1）吉川直志・並川賢治・長田光正：土圧式シールド工法と掘削土砂に関する展望，第48回地盤工学研究発表会，一般-基準・評価②，117.
2）土木研究所編・著：建設汚泥再生利用マニュアル，p.146，p.66.

『トンネルと地下』投稿原稿応募のご案内

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

（注：「現場だより」の投稿は受付けしておりません）

送付先　株式会社土木工学社　編集部　投稿係
〒162-0832東京都新宿区岩戸町16　メイジャー神楽坂
電話（03）3267-2888(代)

トンネルジャーナル

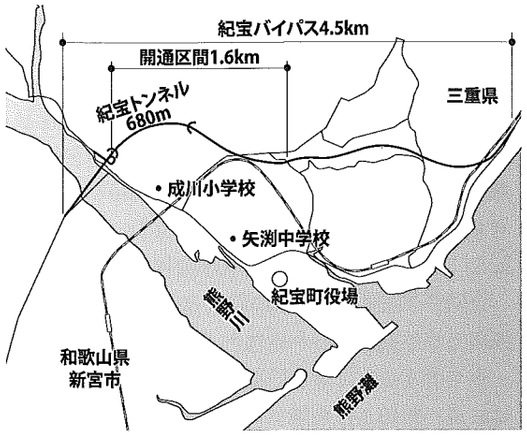
紀宝トンネル開通で60%の交通が転換

国土交通省中部地方整備局紀勢国道事務所が，6月16日に開通した紀宝バイパスについて，開通１か月後の交通状況を発表した．

発表資料によると，開通前の交通量は，旧道である国道42号の断面交通量(12時間)が，平日約15千台，休日約13千台だった．開通１か月後では，平日の交通量は約1,000台増加したが，全体の約60%にあたる9,000台前後がバイパスに転換・利用している．休日については，交通量にほぼ同様で，約60%がバイパスに転換した．現道の大型車混入率も減少している．

開通前の海岸沿いを走る現道は，海岸堤防と法面・家屋に挟まれ歩道の設置が困難な状況で，国道42号全体の中でも当該区間の交通事故の発生状況が深刻な区間だった．他区間に比べて，事故発生件数が1.6倍，歩行者自転車にかかわる事故は全線の70%が当該区間で起きていた．今回の調査では，現道を通学に利用する中学生からも「交通量が減って，自動車に追い抜かれることが減った」などの声があり，安全性の向上が実感されている．同事務所では，今後，さらなる安全性の向上のため現道に歩道を整備するとしている．

同バイパスは，三重県南牟婁郡紀宝町井田を基点とし同町成川に至る3.8kmの２車線片側歩道の道路．



1972年に事業化され，1993年までに井田から2.2km区間が供用されていたが，紀宝トンネル(680m)を含む1.6km区間については，工事差止請求などもあり開通が遅れていた．2001年度に入り，同トンネルのある成川地区の測量・地質調査に着手．2007年度のトンネル着工をへて2010年度に貫通し，このたびの全線開通に至った．

地元では，交通流の平準化により10月に行われる神宮式年遷宮を契機とした広域的な交流・連携強化といった効果に加え，地域の安全面の向上に対する期待も大きい．

2013年度の先端建設技術開発助成の募集開始

先端建設技術センターは2013年度の先端建設技術研究開発助成の募集を開始した．

募集の対象は，①建設ロボット技術，無人化施工技術，CIM(計測)技術に関するもの，②社会資本の老朽化対策に資する技術(非破壊検査技術，モニタリング技術)に関するもの，③トンネル施工技術，シールド施工技術に関するもの，の３分野における効率的な建設事業の推進に資する調査研究と開発．

募集資格は，大学，高等専門学校およびこれらの附属研究機関に属する研究者・研究グループ，法人格を有する民間企業，その他の研究者・研究グループなどとなっている．

２件程度の研究開発に対し上限200万円が助成され，助成期間は2014年の１月１日～12月末日まで．

学識経験者らで構成される研究開発助成審査委員会の審査にもとづき同財団理事長が決定する．研究成果は，助成研究・開発者に帰属するが，研究開発成果報告書は同財団により公表される．

申請は2013年９月30日(月)まで．

【財団ホームページ】
http://www.actec.or.jp
【問い合わせ先】
(一財)先端建設技術センター企画部
「研究開発助成事務局」
〒112-0012　東京都文京区大塚2-15-6
ニッセイ音羽ビル４階
TEL：03-3942-3991　　FAX：03-3942-0424

研　究

トンネル建設が地すべり挙動に及ぼす影響に関する実験的研究

近畿大学理工学部社会環境工学科教授　久　武　勝　保
近畿大学総合社会学部講師　大　野　司　郎
JFEエンジニアリング(株)ガス導管部大阪導管事業所大阪南部グループ監督補　鈴　木　啓　介
三建設備工業(株)大阪支店技術部係員　小　林　　嵩

1 はじめに

本研究は既存地すべり層の近辺にトンネルを建設する場合について，地すべりが誘発される現象を遠心力載荷模型実験により明らかにすることを目的としている．

トンネルが存在しない場合，およびトンネルが既存すべり層の下方，上方およびすべり層に建設される場合について，地すべり発生前後の変位ベクトルとせん断ひずみの発達状況を分析することにより，地すべりメカニズムの把握を行う．また，地すべりに影響し始めるすべり層とトンネルとの最短離隔距離を明らかにするとともに，トンネルがすべり層に接近するにしたがって地すべりが発生しやすくなる程度を解明する．

2 実験概要

2-1　遠心実験装置

本研究ではドラム型遠心力載荷装置[1]を用いた．回転ドラムは内径1,200㎜，高さ400㎜，最大回転数850rpm，最大加速度485G(G：重力加速度)である．

2-2　模型地盤

作成した地盤を**写真-1**に示す．地盤の主な幾何条件は，傾斜角45°，斜面高さ160㎜，トンネル直径36㎜である．

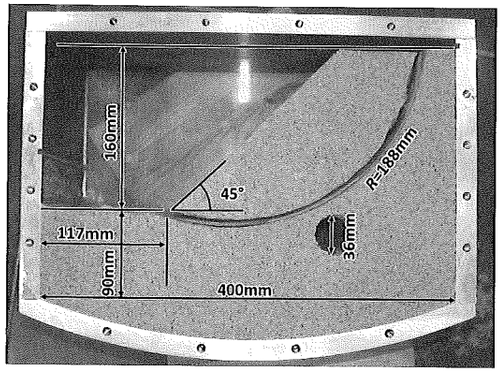


写真-1　地盤幾何形状

表-1　地盤の強度特性

地盤材料	粘着力 c (kN/m²)	摩擦角 ϕ (°)
硅　　砂	19.8	34.4
ベントナイト	3.5	7.9

本実験では厚さ６㎜，半径188㎜の円弧状のすべり層を設けている．すべり層の地盤材料はベントナイトであり，これを含水比200%のもとで練り返して使用した．すべり層の上下部に存在する地盤の材料は硅砂５号であり，これを含水比3.0%のもとで締固め，使用した．

すべり層とその上下部の地盤の強度特性を一面せん断試験で求め，これを**表-1**に示す．

トンネルに覆工を設けていない場合には地すべり発生前にトンネルの一部が崩れる場合があるの

で，トンネル崩壊を抑止するために厚さ0.09㎜のトランスペアレンシー(プラスチック製シート)を二重にしたものをトンネル覆工と仮定し，トンネル内壁に設置している．

2-3　地盤変位の計測方法

土粒子挙動は200万画素のデジタルハイビジョンビデオカメラで撮影する．実験中においてカメラに遠心力の影響が及ぶのを避けるために，カメラは遠心力載荷装置の中心軸上に固定して撮影を行っている．

地盤の変位ベクトルは，撮影した画像を粒子画像流速測定法(PIV)によって求めている．地盤のせん断ひずみはPIVで得られた変位ベクトルを有限要素法におけるBマトリックスに適用して算出する．

2-4　実験ケース

本実験では遠心加速度を上昇させていくことにより地すべりを発生させている．本研究では**表-2**に示す5種類の実験を行っている．すなわち，トンネルが存在しない場合(ケース1)，トンネルがすべり層の下方に離れて存在する場合(ケース2)と近くに存在する場合(ケース3)，すべり層がトンネル中心を通る場合(ケース4)，およびトンネルがすべり層の上方にある場合(ケース5)である．すべり層とトンネルとの位置関係を**図-1**に示す．

表-2　実験ケース

ケース	1	2	3	4	5
トンネル	なし	あり	あり	あり	あり
Y(㎜)	—	42	35	0	46
Y/D	—	1.17	0.97	0	1.28
土かぶり(㎜)	—	165	157	120	71
地盤密度(g/cm³)	1.46	1.46	1.46	1.46	1.46
地盤の相対密度	0.64	0.64	0.64	0.64	0.64

Y：トンネル中心からすべり層までの鉛直離隔距離
D：トンネル直径

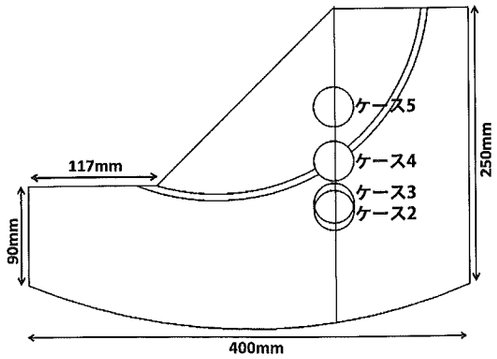


図-1　すべり層とトンネルの位置関係

3　実験結果と考察

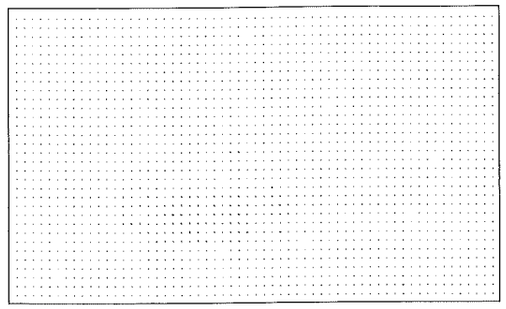
以下では，遠心加速度の増加に伴う変位ベクトルとせん断ひずみの発達状況を分析する．また地すべり発生に及ぼすトンネル建設位置の影響を明らかにする．

3-1　変位ベクトルの発達状況

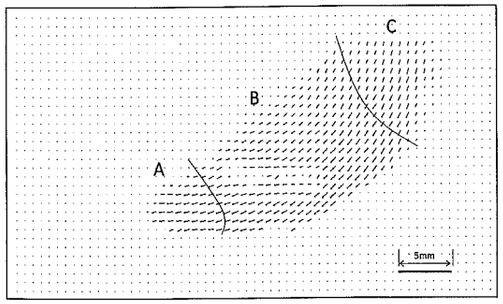
3-1-1　ケース1(トンネルなし)の場合

図-2はトンネルがないケース1の場合において，PIVによって求めた変位ベクトルである．

図-2(a)は加速度19.63G(G：重力加速度)時の変位ベクトルを表した図であるが，この時点では地すべり発生と認められる変位は確認できない．一方，加速度がこれより0.23G増加した図-2(b)



(a)　遠心加速度19.63G時



(b)　遠心加速度19.86G時

図-2　ケース1の変位ベクトル発達状況

の場合では，すべり層より上部の地盤(以後，「すべりブロック」という)の全体にわたって変位が発生している．すべりブロック内の下部に一部変位ベクトルが算出できない箇所が存在するが，これは実験で使用する照明の影響が原因である．図-2(b)の結果から，すべりブロック全体がすべり層を境に移動している状況を確認できることから，トンネルがない場合における地すべり発生時の加速度の値は19.86Gであると考えられる．

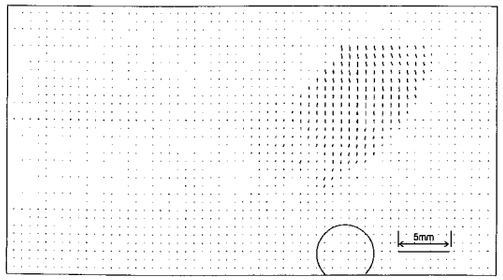
次に，図-2(b)のすべりブロック内の変位の特徴は図中のA～Cの3領域に分けて考察することができる．

まず，Aの領域は水平変位が卓越しているといえる．この領域のすべり層の勾配がほぼ水平であることに起因していると思われる．またBの領域の変位の方向はこの領域のすべり層の平均勾配に近いといえる．Cの領域については，この領域のすべり層の平均勾配がBの領域よりも急であることから，変位ベクトルもBの領域よりもやや急勾配をなす斜め下方を示している．以上のことから，トンネルが存在しない場合の地すべり発生時の変位ベクトルの方向は各領域のすべり層の方向に支配されていることがわかる．

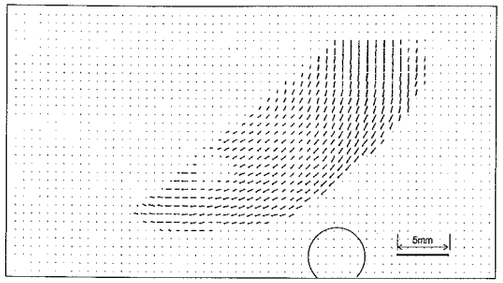
3-1-2　ケース2(鉛直離隔距離比Y/D=1.17)の場合

図-3はトンネルがすべり層の下方にY/D=1.17だけ離れて存在するケース2の場合について，変位ベクトルを求めた結果である．ここにYはトンネル中心とすべり層との鉛直離隔距離，Dはトンネル直径である．

図-3(a)に示す加速度16.76Gの場合において，すべりブロックの右上部に変位ベクトルが発達しているのが確認できる．しかし，すべり層より上部の地盤全体にわたって変位ベクトルは発生していないので，地すべりはまだ発生していないと認めることができる．地すべり発生直前のケース1(トンネルなし)の図-2(a)での加速度の値は19.63Gであるが，図-3(a)ではこれより2.87G小さい加速度の値であるにもかかわらず，図-3(a)の変位ベクトルの絶対値は図-2(a)のそれに比べて相当



(a)　遠心加速度16.76G時



(b)　遠心加速度16.97G時

図-3　ケース2の変位ベクトル発達状況

大きいと言える．このことからトンネルの存在がその周辺の地盤挙動に大きな影響を与えていることが理解できる．

一方，加速度がこれより0.21G増加した図-3(b)の場合では，すべりブロック全体にわたって変位が発生しており，地すべりが生じていると認めることができる．この結果から，トンネルが存在するケース2の場合における地すべり発生時の加速度の値は16.97Gであると考えられる．

次に，図-3(b)におけるすべりブロック下部領域の変位ベクトルについては，図-2(b)の考察と同様，水平成分が卓越している．すべりブロックの中間領域はすべり層の存在の影響を強く受け，これに平行な変位ベクトルが卓越しているといえる．

一方，すべりブロック上部領域の変位ベクトルについては，鉛直成分が卓越して発生している．これはトンネルが存在しない図-2(b)の斜め下方への変位ベクトルの発生結果と異なっている．この現象はトンネルの存在の影響と思われる．図-3(a)に示すように，地すべり発生前においてもト

ンネルより上方の地盤には鉛直変位が発生しているが，これが地すべり層内のひずみの発達，ひいてはすべりの発生に影響を与えている可能性が考えられる．これについては3-2節で考察する．

3-1-3 ケース3（鉛直離隔距離比 Y/D=0.97）の場合

トンネルがすべり層の下方に接近して存在するケース3の場合について，地すべり発生前後の変位ベクトルを**図-4**に示す．これを見ると加速度が14.91Gで地すべりの発生が確認できる．本ケースよりも鉛直離隔距離比が大であるケース2の結果（16.97Gで地すべり発生）と比較すると，トンネルがすべり層に近く存在する場合には，より小さい加速度で地すべりが発生する結果になっている．

3-1-4 ケース4（鉛直離隔距離比 Y/D= 0 ）の場合

図-5はすべり層がトンネル中心を通るケース4の場合について，地すべり発生前後の変位ベクトルを表したものである．

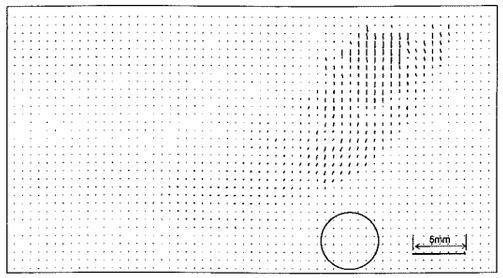
図-5(a)の加速度11.31Gにおいて，トンネルより上方に位置する地すべりブロック領域に広く変位ベクトルが発生している．その後，これより0.51G進んだ図-5(b)では地すべりブロック全体に変位ベクトルの発達が見られることから，ケース4での地すべり発生時の加速度の値は11.82Gと判断できる．

この結果からトンネルがすべり層を切る場合には，トンネルがすべり層の下方にあるケース2とケース3（地すべり発生時の加速度はそれぞれ16.97G，14.91G）と比べると地すべり発生時の加速度の値は相当小さくなり，かなり地すべりを発生させやすいと考えられる．

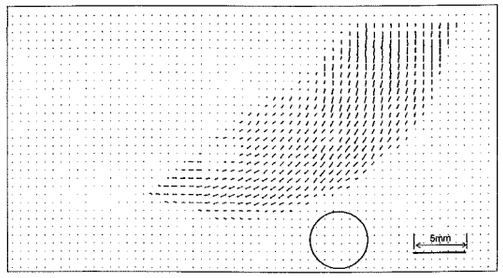
3-1-5 ケース5（鉛直離隔距離比 Y/D=1.28）の場合

図-6はトンネルがすべり層から上方に Y/D=1.28離れた位置に存在するケース5の場合について，変位ベクトルを求めた結果である．図-6(b)において地すべりブロック全体に変位ベクトルの発生が認められることからケース5の地すべり発生時の加速度の値は17.49Gと判断できる．

以上により，変位ベクトルの発達状況から各ケースの地すべり発生時の加速度の値を明らかにすることができた．ケース2からケース5のトンネルがある場合では，いずれもケース1のトンネルのない場合より小さい加速度で地すべりが発生することが認められる．

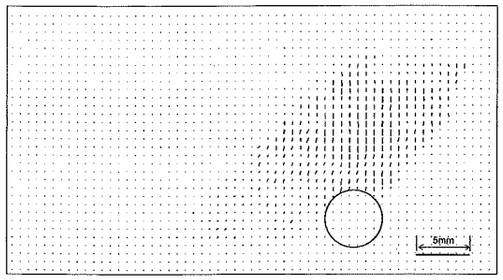


(a) 遠心加速度14.62G時

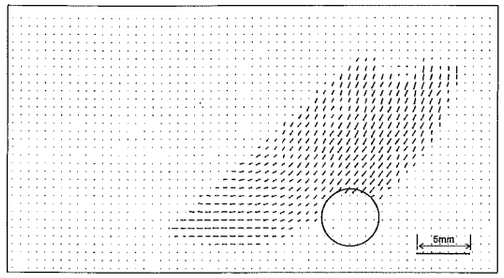


(b) 遠心加速度14.91G時

図-4 ケース3の変位ベクトル発達状況

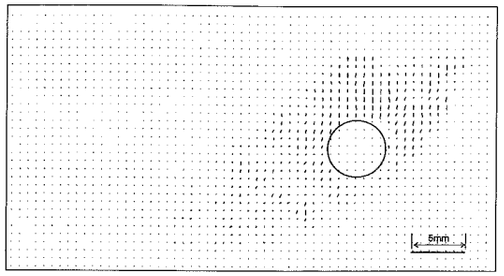


(a) 遠心加速度11.31G時

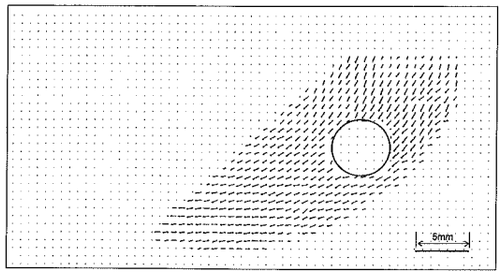


(b) 遠心加速度11.82G時

図-5 ケース4の変位ベクトル発達状況



(a) 遠心加速度17.12G時



(b) 遠心加速度17.49G時

図-6 ケース5の変位ベクトル発達状況

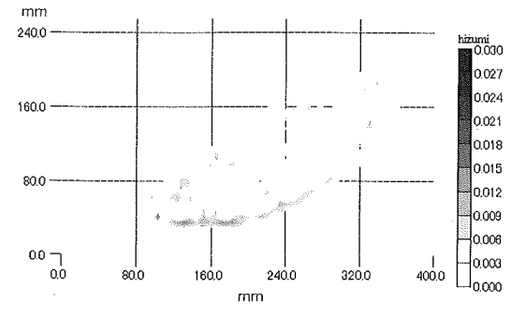
3-2 せん断ひずみの発達状況

3-2-1 トンネルが存在しない場合

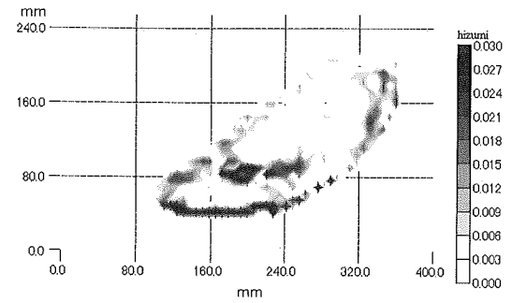
図-7はトンネルが存在しないケース1の場合におけるせん断ひずみの発達状況を示している．

図-7(a)は加速度19.63Gのときの結果である．すべり層左下部でせん断ひずみが最大1.5%程度発生しているが，その他のすべり層ではこのような状況は認められない．この時点では十分なせん断ひずみがすべり層全域に発達していないので，せん断ひずみの視点から地すべりは，まだ発生していないといえる．

この状態から加速度が0.23G増加した図-7(b)では，すべり層全域とすべりブロックの地表面にせん断ひずみが発達している．ここで，すべりブロックの地表面のせん断ひずみの値は実験中移動しない地盤後方の実験装置裏板と，加速度増加に伴って移動するすべりブロックの地表面との間の変位から算出されたひずみであり，実際に地表面で発生している地盤ひずみではないので無視することができる．以下の図でも同様である．また，すべりブロック中央下部のひずみは前にも記した照明の影響であり実際に発生したひずみではない．



(a) 遠心加速度19.63G時



(b) 遠心加速度19.86G時

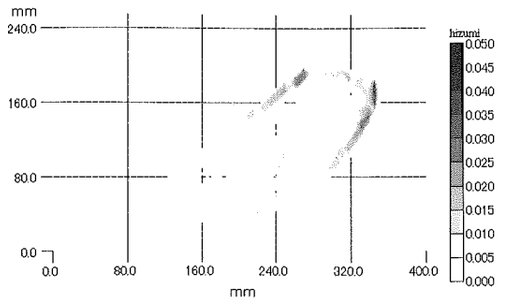
図-7 ケース1のせん断ひずみの発達状況

図-7(b)を見ればすべり層全域にせん断ひずみが発達していることから，すべりブロックがすべり層を境に一体としてすべっていることがせん断ひずみの発達状況からも理解できる．また，トンネルが存在しない場合においては，図-7(a)のようにすべり層下部にせん断ひずみがまず発生し，その後図-7(b)のようにすべり層全域にせん断ひずみが発達している．

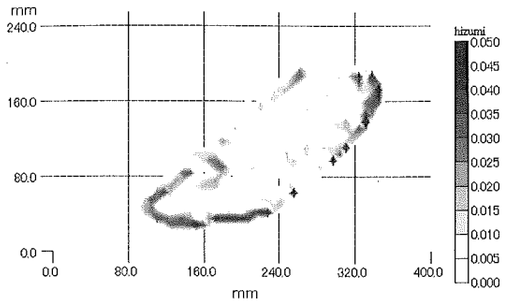
3-2-2 トンネルが存在する場合

図-8はケース2の場合におけるせん断ひずみの発達状況を示している．

図-8(a)は加速度16.76Gのときの結果であるが，すべり層上部にせん断ひずみが最大3%程度発生している．しかし，すべり層の他の場所ではこのような状況は認められない．ところで，トンネルが存在しないケース1については図-7(a)で考察



(a) 遠心加速度16.76G時



(b) 遠心加速度16.97G時

図-8 ケース2のせん断ひずみの発達状況

したように，加速度19.63Gにおいてすべり層左下部でせん断ひずみが最大1.5%程度発生していた．

一方，トンネルが存在する図-8(a)の場合には図-7(a)よりも2.87G小さい加速度であるにもかかわらず，より大きなせん断ひずみがすべり層の上部に発生している．このことは，トンネルの存在によりその周辺で変位ベクトルが発達する(ケース2の図-3(a)参照)とともに，すべり層でもせん断ひずみが発達することを示している．その結果，図-8(b)に示すように，トンネルがない場合よりも小さい加速度で地すべりが発生することを，ひずみの発達状況から理解することができる．

以上で示したように，変位の発達はひずみの発達に強く関係している．地盤のひずみの計測は容易でないが変位の計測は比較的容易であるので，現場での変位計測とその分析が推奨される．

3-3 地すべり発生に及ぼすトンネル位置の影響に関する考察

トンネルが存在しない場合に比較してトンネルが存在する場合にはどの程度地すべり発生時の加速度の値が低下するかについて，以下で定義する加速度パラメータα_0，αを用いて検討する．

α_0：トンネルが存在しない場合において地すべりが発生するときの遠心加速度の値

α：トンネルが存在する場合において地すべりが発生するときの遠心加速度の値

αとα_0の比(α/α_0)をとってまとめた結果を**表-3**に示す．トンネルが存在するケース2からケース5ではα/α_0値が1.0を下回る結果となっている．これより，トンネルが地すべりを発生させる要因となっていることが明らかである．

表-3 各ケースの実験結果

ケース	1	2	3	4	5
Y/D	—	1.17	0.97	0	1.28
地すべり発生時加速度(G)	19.86	16.97	14.91	11.82	17.49
α/α_0	—	0.85	0.75	0.60	0.88

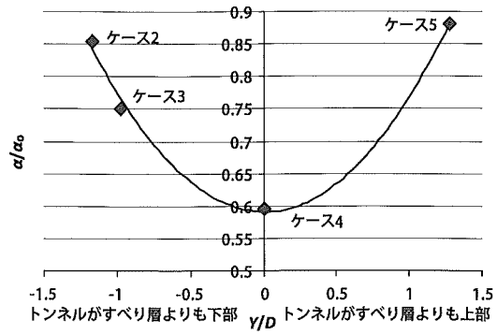


図-9 鉛直離隔距離比(Y/D)と加速度比(α/α_0)の関係

また，トンネルがすべり層よりも下部にある場合において，すべり層から離れているケース2の場合($Y/D=1.17$)ではα/α_0の値が0.85，すべり層に接近しているケース3の場合($Y/D=0.97$)では0.75，またすべり層がトンネル中心を通るケース4の場合($Y/D=0.0$)では0.60であることからトンネルがすべり層に接近するほど，地すべりが発生しやすいことが本実験で明らかになったといえる．

ここで，表-3の関係を図に示せば**図-9**が得られる．この結果を図示の2次曲線で近似し，これから$\alpha/\alpha_0=1.0$を与える離隔距離比Y/Dの値を求めれば，すべり層の上方および下方にトンネルを建設するいずれの場合においても，1.5が得られる．すべり層の下方にトンネルを建設する場合について，トンネル天端からすべり層までの鉛直離隔距離Hを用いて上記の結果を表現すれば，$H=1.0D$となる．すなわち，トンネル天端とすべり層との鉛直離隔距離がトンネル直径以下となれば，地すべりに及ぼすトンネル建設の影響が発生することになる．

なお，地すべりブロック内にトンネルが建設される場合についての本実験数は少ないので，より多くの実験によってさらに詳細な検討が期待される．

4 まとめ

すべり層の近くにトンネルが建設される状況を想定し，すべり層とトンネルとの離隔距離を変化させた遠心模型実験を行い，これで得られた変位ベクトルなどの結果とトンネルが存在しない場合の結果とを比較して，地すべり発生前後の地盤挙動を種々考察した．これより得られた結果を示せば以下のとおりである．

① 特定の遠心加速度の値において地すべりが発生する現象を変位ベクトルおよびせん断ひずみの発達状況から明らかにすることができた．

② 地すべり発生時におけるすべりブロック上部領域の変位ベクトルは，トンネルが存在しない場合には斜め下方に発達するのに対して，トンネルがすべり層の下方に存在する場合には，鉛直下方に発達することが認められる．これより，トンネルの存在がすべりブロックの変位挙動に強く影響することが認められる．

③ トンネルが存在しない場合にはすべり層下部にまずせん断ひずみが発生し，その後すべり層全域に発達するのに対して，トンネルがすべり層の下方に接近して存在する場合にはトンネル上部のすべり層にまずせん断ひずみが発達し，その後すべり層全域に発達する．

④ トンネルがすべり層に接近するにしたがって，地すべり発生時の加速度の値は小さくなる．トンネルがすべり層を通過する幾何条件では，地すべりが発生するときの加速度の値はトンネルがない場合の60%であり，地すべりに及ぼすトンネル位置の影響が相当大きいことが認められた．

⑤ 本実験条件からすると，トンネルをすべり層の下方に建設する場合について，トンネル天端とすべり層との鉛直離隔距離がトンネル直径以下となれば，地すべりに及ぼすトンネル建設の影響が発生し始める．

なお，以上の結果は特定の実験条件下で得られたものであるので，今後は地盤条件，幾何条件を種々変化させた研究を行い，地すべり発生に及ぼすトンネル建設の影響をさらに究明する必要が認められる．

また実務においては，現場の幾何条件，力学条件などを考慮した遠心模型実験をトンネル建設前後の地盤に対して行い，その際にPIVによる変位やせん断ひずみの分析を行っておれば，地すべりに及ぼすトンネル建設の影響を事前に把握できると思われる．トンネル建設が地すべりを誘発する場合には，アンカー工や地盤強度の増加などの種々の地すべり対策工の効果の確認を行うこともできる．

本実験は2次元状態で行われているが，実務においてはトンネルがすべり層と立体的に交わるなど種々のケースが存在する．このような場合に対してはロボットによる切羽の掘削や切羽前方後方変位の計測が行えるとともに，早期断面閉合やAGF工などの地すべり抑止効果の評価ができる3次元的な実験手法[2)~4)]の適用が今後望まれる．

また，すべり層のせん断ひずみの発達はその周辺地盤の変位の発達と強い関係があることを本実験で明らかにした．このことより，現場における想定地すべり層周辺で変位を計測し，その結果からすべり層のせん断ひずみを算出しておけば，地すべり発生前のせん断ひずみの発達特性や降伏ひずみの発生領域をトンネル進行に対応させて経時的に把握・評価できるので，地すべり抑止の対策を検討する実務視点から有効と思われる．

参 考 文 献

1) 久武勝保・大野司郎・大前幸寛・片山達章・鈴木啓介：トンネルの安定性に対するインバート工の効果に関する遠心模型実験，土木学会論文集F 1（トンネル工学)特集号，Vol.67，No.3，pp.1–8，2011.
2) 久武勝保・大野司郎・佐野真介・木村正樹・鳥居敏：トンネル遠心模型実験における掘削ロボットの開発とその先受け工法への適用，トンネル工学論文集，Vol.15，pp.23–30，2005.
3) 久武勝保・大野司郎・片山達章・大前幸寛：トンネル核残し工法の変位抑止・切羽安定効果の遠心模型実験，トンネル工学論文集，Vol.17，pp.1–8，2007.
4) 久武勝保・大野司郎・片山達章・大前幸寛・鈴木啓介：トンネルリングカット工法による切羽前方地盤の沈下抑制効果，土木学会論文集F 1（トンネル工学）特集号，Vol.66，No.1，pp.41–48，2010.

■図書案内

地 下 水 の 科 学 ― 全3巻 ―

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

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



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

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

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

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

連載講座

トンネルにおける地下水対策（2）

―地下工事における地下水トラブル―

「地下水対策」連載講座小委員会

① はじめに

トンネルをはじめとする地下構造物を地下水面よりも深いところに建設する場合，地下水によるさまざまな影響を受ける．軽微なものは，地下水が掘削面ににじみ出して「べちゃべちゃ」「どろどろ」な状態となり，足場が悪くなったり，土砂の搬出に苦労するなどといったことである．排水溝や釜場を設けて可能な限り水をきる工夫がなされる．

このような地下水のにじみ出しを甘くみて掘削工事を進めていくと，これがトラブルと呼ばれる事態にまで拡大することがある．掘削の進行により掘削内外の水位差が大きくなり，湧水量が増加するばかりでなく，地盤をも移動させる力(浸透力)となり掘削底面や切羽の崩壊に至る．古くから「地下工事におけるトラブルの多くは地下水絡みである」とか「地下水を制するものが地下工事を制する」とか言われている．まさに至言である．

このような地下水によるトラブルを避けるために地下水を排水して地下水位を低下させる排水工法，あるいは地盤改良などにより地下水の浸入を防止する止水工法などさまざまな地下水対策が行われてきた．ところが，地下水対策の適用により新たな地下水トラブルが発生している．周辺地下水位の低下や，地下水質の変化などといった周辺地下水環境へ影響を与えるトラブルである．

本講座においてはトンネル工事において発生の可能性があるトラブルについて事象をリストアップし，どのようなことが起こるかを説明する．また，このトラブルがどんな原因で発生するのか，トラブルの原因がどこに潜んでいるのかを解説する．さらに，現場において，トラブルの発生をどのように予防するか，トラブルが発生した場合どのような対処をするかについても言及する．

ここでは，開削トンネルをメインに取り上げる．シールドトンネル，山岳トンネルに関しては別の回の講座を参照して欲しい．

② トラブルの種類

トンネル工事の地下水対策として，有すべき条件を図-1に示す．工事の作業性を確保したうえで安全に進めること，周辺環境へ実害となる影響を及ぼさないこと，適正な工費・工期で工事を進めることなどである．これらの条件がすべて満足された地下水対策が理想的な状態である．

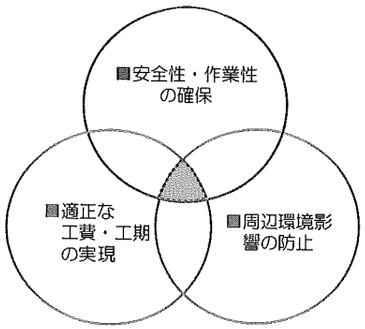


図-1　地下水対策の有すべき条件

逆にいえばこれらの一つでも満足されていない状態は，程度の差こそあれトラブルといえる．一般に，トラブルというと山留めの崩壊，出水事故などを連想するが，周辺環境への多大な影響，工費の増大，工期の延長などさまざまなトラブルがある．

2-1　安全性・作業性に関するトラブル(地下水から受ける影響)

トンネル工事における地下水対策を検討する場合，第一に考えるのは作業性を確保したうえで工事を安全に進めることである．開削工事において発生する安全性・作業性に関するトラブルを**図-2**に示した．

地下水位以深の地下掘削のためには，掘削内の地下水を排除して地下水位を低下させる必要がある．この結果として，掘削内外に水位差がつき水圧のバランスが崩れるとともに，掘削外から掘削内へ向かう地下水の流れが生じる．この地下水の流れが大きくなり，水だけでなく土砂も一緒に掘削内に流入する状態になると，土留めの崩壊，周辺地盤の陥没といった大規模トラブルへつながる．

(1)　地下水による作業性の低下

地下水面より深くまで地下を掘ると地下水が掘削内に湧出してくる．掘削深さが地下水位よりそれほど深くない段階では，釜場などにより排水して掘削を進める．釜場は掘削底面に湧出してくる地下水を排水する工法であるから，掘削域全体をドライな状態に保つことは難しい．掘削内に水たまりがあったり，土が湿潤な状態になって人が歩くことや重機が移動することが困難な状態になる．

細粒分の少ない粒径のそろった砂は，地下水の存在する状態では自立が困難である．海岸の砂浜で穴を掘るときのように，掘っても掘っても回りの砂が崩れてきて所定の掘削形状を保つことができなくなる．掘削した土砂も含水率が高いと通常の土捨て場では受け入れられず，汚泥として廃棄物処分しなくてはならない．

構造物の構築段階においても表層部に湧出した地下水の流れにより，コンクリート中のセメント分が流亡して品質の低下を招く．

このようにトンネル内への地下水湧出は工事の作業性を低下させるとともに，工事の品質をも劣化させる要因となる．

(2)　パイピング，ボイリング

掘削内外の水位差が大きくなり地盤中の砂粒子が移動する程度まで地下水の流れる力(浸透力)が大きくなると，掘削内に地下水だけでなく砂粒子まで流出する現象が発生する．

初期の段階では局所的にパイプ状の水みちができ，そこから地盤内の砂分が間欠的に噴出する．この砂がクレーター状の山を作る(**写真-1**参照)．この現象をパイピングと呼んでいる．

この状態を放置すると，この水みちが徐々に拡大し，掘削底面付近の砂分が地下水とともに湧き立つように舞い上がる状況となる．この現象をボイリングと呼ぶ．通常，動水勾配がもっとも大きい土留め壁のきわでボイリングが発生するため，地盤が土留め壁を抑える力(受働抵抗)が失われ，大規模な土留め崩壊につながることもある．

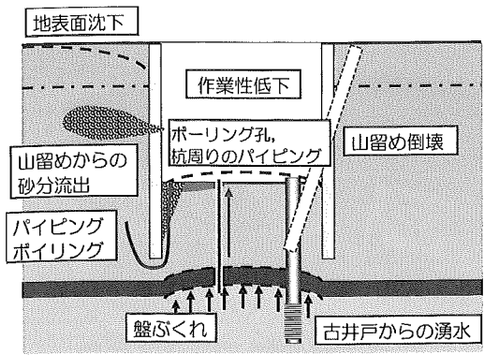


図-2　安全性・作業性に関するトラブル[1]

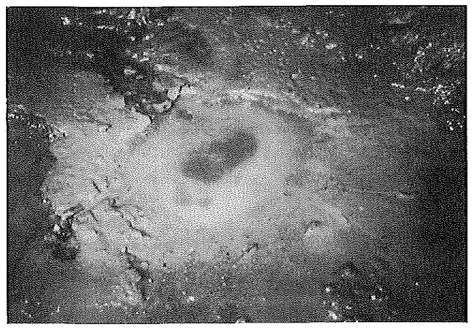


写真-1　パイピングによりできた水みち

(3)　盤ぶくれ

掘削底面より深いところに透水性の低い難透水層があり，さらにその下部に地下水位が高く透水性の高い被圧帯水層が存在する場合，掘削の進行にともなって掘削底面以深の土の重量(土かぶり圧)が小さくなる．これが難透水層の下面にかかる間隙水圧よりも小さくなると土の重量で水圧を抑え込むことができなくなって掘削底面が膨れあがる現象が発生する．これを盤ぶくれと呼ぶ．

盤ぶくれが発生すると地盤の膨れあがりだけではおさまらず，土留め壁や中間杭のきわ，あるいは掘削の中央部から地下水と土砂が噴出するボイリング的な現象につながることが多い．難透水層の弱点部分に亀裂的な水みちができてこのような現象が発生すると考えられる．

(4)　ボーリング孔，杭回りのパイピング

工事前，掘削部に地盤調査用のボーリングを行うことがある．このボーリング孔が十分に埋戻されていない場合，掘削の進行に伴ってボーリング孔内の埋め戻し材が流出し，地下水および土砂がここから噴出するパイピング現象が発生する．**写真-2**にその状況を示す．ボーリング孔の孔壁がきれいに残っている状況がわかる．このような現象を防ぐためには掘削部内において地盤調査を行わないこと(掘削部外において地盤調査を行うこと)が第一である．用地の関係などで掘削部外での調査が難しい場合には，十分な埋戻しを行う．

地下水位低下の対象となる帯水層よりも深くまで貫入している杭もパイピングの原因となることがある(**写真-3参照**)．杭回りの止水材の充填が十分でない場合や，桟橋杭などのように施工時の揺動により杭回りが緩みやすい場合などにこのような現象が起きる．

ビルの建替え工事においては，既存のビルで使われていた古井戸が出現して，これがパイピングの原因となる場合がある．古井戸は十分な埋戻しがなされていない場合がほとんどであり，これを不用意に切断すると多量の地下水が湧出する．

このようにトンネル工事のための地下水対策を必要としない深い帯水層まで貫入しているボーリング孔，杭，井戸などが原因となり地下水や土砂が噴出してきたときのトラブル対策は困難である．もともと，地下水位低下のための設備が設置されていないため，緊急かつ確実な対策をとることは難しい．

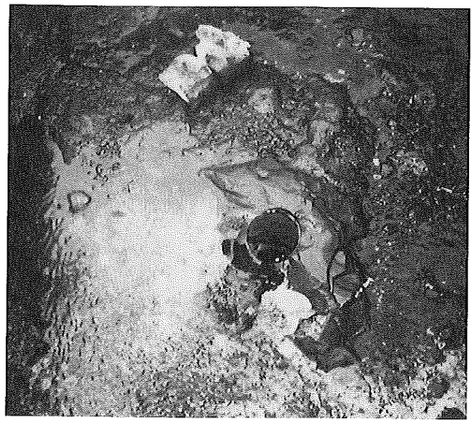


写真-2　ボーリング孔からのパイピング



写真-3　杭回りでのパイピング

(5)　土留め壁からの湧水

開削トンネル工事において，よく発生するトラブルとして土留め壁からの出水，土砂流出がある．土留め壁は掘削工事の際に土の崩壊を抑えることを目的として設置される仮設の壁であるが，同時に地下水の流れを止める止水壁としての機能も有している．

近年，土留め壁の施工技術は著しく向上し，止水性能の高い大深度土留め壁が構築できるようになってきた．しかし，都市部のトンネル工事などでは既設の地下埋設管などがあり地上から土留め壁が施工できない箇所がある．このような部分は



写真-4　平鋼溶接による土留め壁出隅部の補強

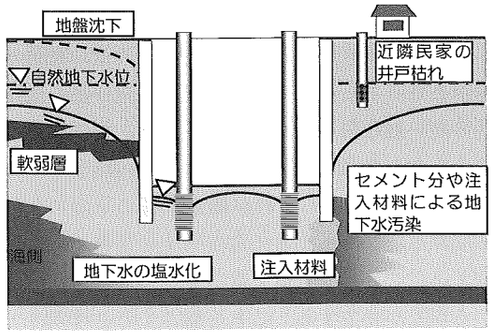


図-3　周辺環境に関するトラブル[1)]

特殊な工法により止水壁を施工するが，土留め壁の施工不良箇所となり出水の原因となるケースが多い．

また，複雑な掘削形状で出隅部が存在する場合，この部分が地下水湧出原因となることがある．出隅部は掘削の進行に伴い土留め壁が開く方向に背面土圧が作用するためクラックが生じやすい．これを防止するために**写真-4**に示すように掘削と併行して平鋼を芯材に溶接し土留め壁の開きを抑えるなどの対策をとる．

シールドトンネル工事においては立坑からのシールド発進，あるいはシールド到達の際に土留め壁を切削する必要がある．薬液注入工法，高圧噴射撹拌工法，凍結工法などによる防護工を行って施工することが一般的であるが，施工不良箇所からの出水事故がたびたび発生している．

土留め壁からの出水も地下水だけの湧出であれば大きなトラブルにつながる可能性は低いが，地下水とともに土砂も流出することが多く，地表面陥没といったトラブルにまで進展する事例が頻発している．

2-2　周辺環境に関するトラブル(地下水に与える影響)

トンネル工事に伴う地下水対策は安全性・作業性を確保するために採用されるが，その結果として周辺環境へ影響を及ぼす場合がある．開削トンネル工事において発生が想定される周辺環境に関するトラブルを**図-3**に示す．

(1)　周辺地下水位低下

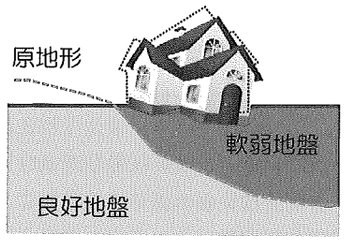
地下工事のために現場内の地下水位を低下させるとその影響が周辺に及ぶ場合がある．地下水位の低下により発生が想定される環境影響としては，既設井戸への影響である．井戸からの揚水量が減少する，井戸水が濁る，あるいはまったく揚水できなくなるなどの影響が考えられる．とくに，手掘りの民家の井戸は地下水面からわずかに掘り進んだ程度の深さまでしか掘られていない場合が多く，わずかな水位低下でも井戸枯れというトラブルに至る．

また，現場近くに湧水がある場合もその影響が表れやすい．湧水は地形の高低により地下水が地表に湧き出すところであり，地下水が人目に触れる数少ないスポットである．崖沿いの湧水は帯水層と難透水層の境目付近に存在する地下水が源となっていることが多く，わずかな地下水位の低下でもその影響が湧水枯れや湧水量の減少となって顕在化する．

湧水は人々の憩いの場になっていることが多く，神聖な場所(水)として祀られていること，あるいは名水として指定されていることも少なくない．このような湧水に影響が表れると大きな社会問題に発展する可能性がある．

(2)　地盤沈下

地下水位の低下が地盤沈下を誘発することはよく知られるところである．全応力一定の条件で地下水位が低下すると間隙水圧が低下し，有効応力が増加する．つまり，地下水の圧力で支えていた地盤や構造物の重量を地盤自体で負担しなければならなくなるため，地盤が圧縮変形する．砂地盤では短時間で沈下が収束するが沈下量は比較的小



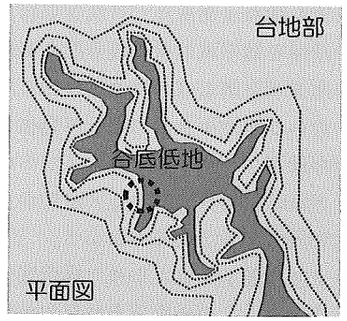
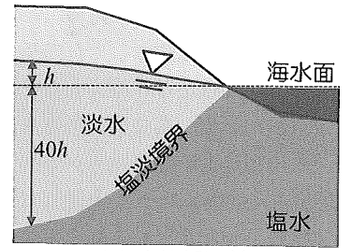
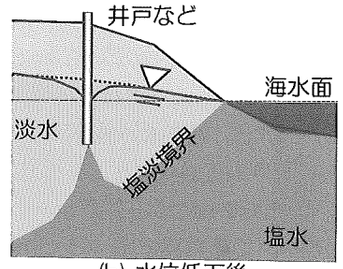


図-4　地盤沈下の影響が表れやすい地形



(a) 水位低下前



(b) 水位低下後

図-5　地下水位の低下による地下水塩水化

さい．粘性土地盤では大きな沈下が長時間かけて発生する圧密沈下現象となる．

地盤沈下の影響は，杭なし建物で建てつけが悪くなる，杭あり建物とその周辺地盤に段差ができる，ブロック塀やレンガ積み部分に亀裂，ずれが生じるなどの現象として顕在化する．またガス管，上下水道管などの地下埋設管が杭のある建物に取り付けられている部分が破損する事象も発生している．ガス管の破損はガス漏れ，爆発の原因にもなるのでとくに注意が必要である．

地盤沈下の影響は軟弱な粘性土地盤が厚く堆積しているところに表れる．とくに，**図-4**に示すように軟弱粘性土層の厚さが変化するところでは不等沈下になるため，影響が顕在化しやすい．台地の間に樹枝状に谷底低地が発達しているところでは注意が必要である．また，現場直近に影響が現れなくても，現場から数百m離れたところで沈下が発生する場合もある．現在の地形は埋土，盛土，切土などが行われていてもともとの地形がわかりにくくなっているため，沈下発生の可能性を判別することが難しい．古地図や国土地理院の土地条件図などでその可能性を調査することが重要である．

(3)　地下水の塩水化

海岸付近では塩分濃度の高い水(塩水)が塩分濃度の低い地下水(淡水)の下にくさび状に入り込んでいる(**図-5**参照)．ガイベン・ヘルツベルグの法則によれば，淡水と塩水の境界面(塩淡境界)までの海水面からの深さは，海水面から地下水面までの高さhの40倍程度になる．工事の影響などにより地下水位が低下すると，塩淡境界面がマウンドアップして塩分濃度の高い地下水の領域が拡大する．工業用水や生活用水として利用していた地下水の塩分濃度が高くなり利用不能になるといったトラブルが発生する．

(4)　セメント分や注入材料による水質変化

ここまでは，トンネル工事現場において地下水対策として地下水位低下工を採用したときに，現場周辺で地下水位が低下することによる環境影響を解説した．これを防止するために止水を主体とした地下水対策を採用することがあるが，この場合は水質面への影響を及ぼす可能性がある．

止水工法ではセメント系の材料や水ガラスなどの薬液を用いて止水改良体を造成する．透水性の高い地盤や地下水流れが速い場所においては，これらの材料が固結する前に地下水に流されて拡散

し，地下水を汚染する可能性がある．

薬液注入工法は止水工法として有力な工法であるが，浸透型の薬液はかなり遠方まで拡散する可能性がある．1970年代，高分子系の薬液による地下水汚染，飲用利用者の健康被害が発生した．その後，「薬液注入工法における建設工事の施工に関する暫定指針」が制定され，使用可能な薬液は劇物やフッ素化合物を含まない水ガラス系のものに限定された．併せて施工時には地下水の水質を監視することも義務づけられている．

止水工法の採用にあたっては材料の浸透性(粘性)，地盤の透水性，地下水の流動状況(動水勾配，流速)，既存井戸の近接状況などを総合的に判断して水質への影響を検討する必要がある．

2-3　経済性や工期に関するトラブル

トンネル工事のための地下水対策に想定外の費用や工期がかかるといったトラブルが発生することがある．

もっともわかりやすい例は下水道使用料金である．排水工法を採用した場合，揚水した地下水はどこかに捨てなければならない．都市部においては下水道へ排水することが一般的である．下水道へ排出する場合，下水道使用料金が課せられる．下水道使用料金は水道料金と同様に従量制であるため，排水する量に比例して工費がかかる．**表-1**は大都市における下水道使用料金の例である(単位量あたりの使用料金は排出量の増加にともない累進的に高くなるが，その最高単価を表示している)．この表から都市ごとに差はあるが，1 m³あたり200～500円，1 m³/minの排水を1か月続けると1～2千万円程度の下水道使用料金がかかることがわかる．排水工法の稼働期間は数箇月に及ぶことも少なくないため億単位の金額になる．排水量が当初の想定量よりも多くなると，それに比例して工費も跳ね上がる．

表-1　各都市の下水道使用料金

都市名	単位量あたり使用料金(円/m³)	1 m³/min排出時1か月の使用料金(概算)(百万円)
札　幌	237	10
仙　台	420	18
東　京	345	15
横　浜	472	20
名古屋	267	12
京　都	218	9
大　阪	234	10
神　戸	260	11
広　島	495	21
福　岡	515	22

工事の途中で地下水対策の大きな変更が必要になる場合もある．例えば，排水工法により施工を進めていたら周辺地下水位の低下が発生し，環境への影響が懸念されたため，止水工法への変更が余儀なくされる場合などである．追加の止水対策のために膨大な工費，工期がかかる．

ボイリング，盤ぶくれといった掘削底面の破壊現象や土留め壁からの出水・土砂流出が発生した場合は，工事現場内の復旧，周辺地盤・構造物の修復に多大な工期，工費がかかる．また，地盤沈下による周辺構造物への影響や井戸枯れが発生した場合には，修復費用，補償費用がかかる．このような事象を回避することは工期・工費の観点からも必須である．

③　トラブル発生の原因

上記で挙げたトラブルはさまざまな要因が絡み合って発生すると考えられる．**図-6**に示すようにトラブル発生の原因は調査の段階，設計の段階，施工の段階に潜んでいる．

3-1　地盤調査の不備

トンネル工事における地下水対策を検討するには地盤の情報を正確に把握しなければならない．必要な情報としては，①地層構成，②各層の地下水位，③各層の透水係数，などである．調査で得られた地盤の情報と，掘削深さ・掘削規模などの施工の条件を重ねて施工時に発生する事象を想定する．そのうえで最適な地下水対策を検討することが必要である．

(1)　地層構成の調査

トンネルのような縦断方向に長い構造物の建設にあたっては，路線方向に複数のボーリングを実

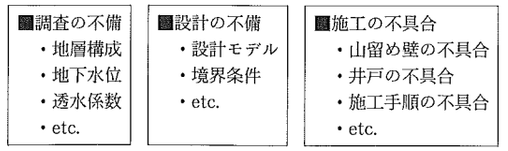


図-6　トラブル発生の主な原因

施し，この結果をつないで地層断面図を作成する．層構成がきれいに連続している場合は地層断面図の作成は容易であり，ボーリング調査もそれほど密に実施する必要がない．層構成が複雑なとき，地層に急な傾きがあるときは地層断面図の作成が難しい．砂層が何層かある場合，どの層どうしがつながっているかの判断が難しい場合がある．このようなときは地層中にキーとなる層(火山灰層など)を見つけてその出現深度から連続性を評価することが有効である．また，電気検層を実施して帯水層の連続性を評価することも有効である．**図-7**はその例を示したもので，ボーリング柱状図のみからは判断が難しい地層の連続性を，電気検層結果の併用により解明したものである．地層の傾斜が急な場合は，既存ボーリングを補間する形で調査本数を密にしていく工夫が必要である．

ボーリング調査の深さも十分な深度まで実施する必要がある．開削トンネルの場合は，掘削深さの3倍程度の深さまで調査することが望ましい．調査深度が不足した場合，調査では見逃した深さの被圧帯水層の影響により盤ぶくれが発生することもある．

トンネル縦断方向の情報はそれなりに収集できるがトンネル横断方向の情報が不足する場合がある．横断方向にも地層の傾斜，不連続の可能性はある．**図-8**に示すように1本のボーリング情報だけで地層構成を想定すると，粘性土層に根入れしたつもりの止水壁が届いていなかったり，粘性土層が連続していなかったりして止水工法として不十分な対策になる可能性がある．

(2)　地下水位の調査

地下水対策の検討においては自然状態での地下水位を把握することが不可欠である．地下水位によって必要水位低下量が変わり，これに比例して揚水量，湧水量が変化する．

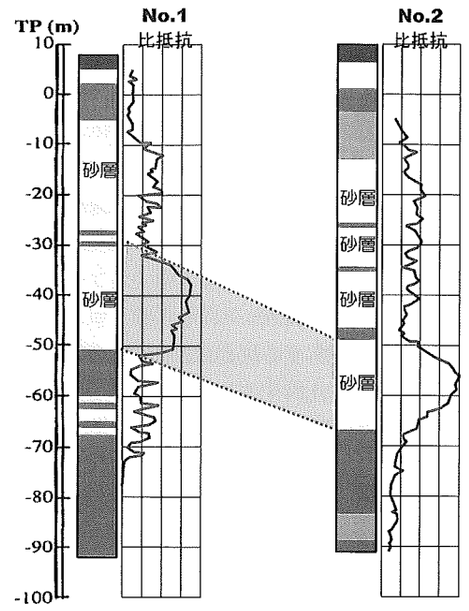


図-7　電気検層による地層対比の例

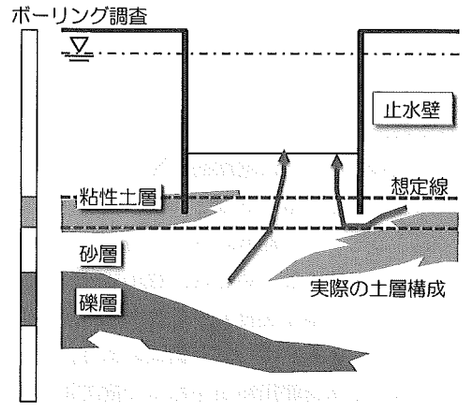


図-8　調査不足による地層構成の誤認の例

地下水位調査において注意すべきことは，地下水位は種々の要因により時間的に変化していることである．ある一瞬の地下水位を計測して，これを設計地下水位にすると水位が上昇したときに排水工法の設備が不足してトラブルが発生する．本講座第1回でも述べたように東京など大都市部の地下水位は数十年前には大きく低下していた．この当時の水位計測データを用いると全く誤った判断を下してしまう．

さらに重要なことは，地下水位は深度方向に異

なる値を示すことである．ある特定の帯水層の地下水位を計測して，その地点の代表水位として評価すると正しい設計ができない．帯水層ごとに異なる地下水位を有していることを念頭におき帯水層ごとの地下水位が計測できるよう観測井・観測孔を設置する．ボーリング調査結果に示される孔内水位は表層付近の地下水位であることに注意する．

（3）　透水係数の調査

排水工法を採用する場合の揚水量や湧水量は地盤の透水係数に比例する．透水係数を正確に評価することが地下水対策の検討においては重要である．

透水係数の調査方法として，粒度分析結果から推定する方法，1本のボーリング孔を用いた単孔式透水試験，揚水井と複数の観測井を用いた揚水試験などがある．試験・調査法により費用は大きく異なる．このため比較的安価な粒度試験による方法や単孔式透水試験から透水係数を評価することが多い．

しかし，これらの試験・調査はサンプリングを行った点，あるいは試験を行った箇所近傍の情報しか得られないこと，精度的にもオーダーレベルでの誤差が生じうることなどから，設計結果に大きな誤りを生じる可能性がある．地下水対策が重要なトンネル工事においては，費用はかかるが精度の高い揚水試験を実施すべきである．前述のように透水係数と揚水量は比例関係にあり，揚水した地下水は下水道使用料金を払って捨てる必要がある．透水係数はオーダーレベルで議論されることが多いが，透水係数が2倍違うと揚水量が2倍変わり下水道使用料金も2倍かかることになる．透水係数には億単位の価値があるという認識が必要である．

3-2　設計の不備

地下水対策の設計法として理論解による方法と数値解析による方法がある．また，地下水流れの空間モデルとして三次元，平面二次元，断面二次元，軸対称などが考えられる．時間場に関しては定常法，非定常法がある（本講座第1回参照）．

これらのうち，どの方法を用いて設計するかを適切に選定することが重要である．実際の地下水流れと著しく異なる設計法を用いた場合，トラブルの原因となる．トンネルのような線状構造物で井戸理論式や軸対称解析を用いることは適当でない．鉛直方向の地下水流れが卓越する場や，深さ方向の地下水位分布が重要な問題で平面二次元的な手法を用いると現象が正しく表現できない．トンネルの端部付近などトンネル縦断方向の地下水流れも考慮する必要がある場では，断面二次元的な手法では不十分である．

それではどのような場合でも万能な三次元解析を用いるべきかといえば，そうとはいえない．高度な設計・解析法を用いてもこれに入力すべき調査データが十分でない場合が多いためである．調査結果としての地盤情報とのバランスに配慮しながら，現場の地下水流動状況をできるだけ適切に再現できる設計法を選定する必要がある．

設計上のトラブルの原因として境界条件のとり方を誤っている場合も少なくない．境界までの距離をどの程度とるかは十分な検討が必要である．地下水の解析では，ほかの地盤問題よりもかなり広めの解析領域が必要である．また，上流側からの降雨しか地下水涵養源がない場所（流量既知境界）に水位固定の境界条件を与えると実際の涵養量よりも多くの地下水が流入することとなり周辺の地下水位低下が過小評価される．

3-3　施工の不備

止水性土留め壁の施工不良，薬液注入工法や高圧噴射攪拌工法のラップ不良などは，その箇所が地下水の通り道となり，出水・土砂流出トラブルの原因となる．精度の高い施工を行うとともに，トラブル発生の可能性がある地下埋設管部，土留め壁出隅部などは重点的に点検・監視を行う．

排水工法において揚水設備（井戸）の性能が低く想定どおりの地下水位低下が得られないことがある．**図-9**に示すように井戸内水位は設計どおりに低下しているにもかかわらず，直近の地盤内水位は十分に低下しない．井戸施工時に井戸周辺に形成された泥膜の除去が不十分であり，井戸損失と

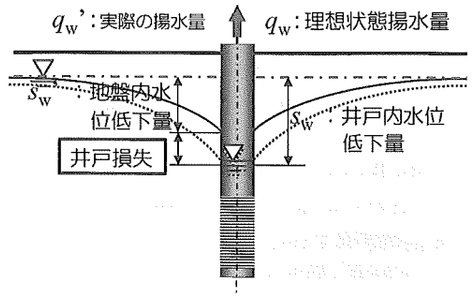


図-9　井戸施工の不備による性能不足

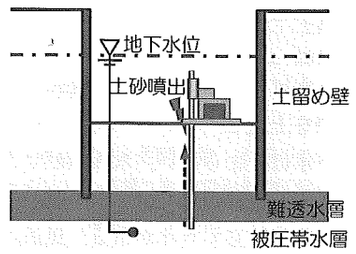


図-10　施工手順ミスにより発生するトラブル

よばれる水位差が発生するためである．井戸削孔時の泥水管理，削孔方法の選定，井戸完成時の井戸洗浄などを適切に行い井戸損失の小さな井戸を施工することが重要である．

施工手順のミスにより発生するトラブルもある．開削工事においては，掘削部内に井戸を設置したり，薬液注入工法などによる底盤部の地盤改良を行うことがある．このとき，施工コストを低減するためにある程度まで掘削を進めてから削孔を行う場合がある．**図-10**に示すように，この施工盤が自然地下水位より深いと，削孔により難透水層を貫通したときに多量の地下水と土砂が噴出する．このようなちょっとした施工計画のミスにより甚大なトラブルが発生する．

排水工法を採用する場合に過大な揚水，水位低下を行うことにより周辺環境に大きな影響を与えてしまうことがある．必要とされる箇所の地下水を必要な期間，必要な量だけ低下させるよう運転管理することが重要である．開削工法など段階的に掘削が深くなる工事では，その施工ステップにあわせた運転設定を行い，周辺環境への影響や工費（電力使用量，下水道使用料）削減のための工夫をする．

④　トラブルの予防と発生時の対処法

4-1　点検監視と計測管理

トラブルの発生を防止するためには，日常的な点検・監視と計測管理が重要である．

土留め壁や掘削底面の状況を目視し，トラブルの予兆を見逃さないようにする．とくに，掘削底面においては土留め壁ぎわ・杭回り，土留め壁においては地下埋設管路があり特殊工法により施工した箇所，出隅部などトラブル発生の可能性が高い箇所の点検・監視を重点的に行う．点検により写真-1に示したような噴出口が認められた場合は，速やかに原因を究明し対処する．

トラブル発生の予兆を把握するためには地下水位の計測が不可欠である．掘削内部の地下水位がドライワーク，盤ぶくれ，ボイリング防止のための安定水位まで確実に低下していること，掘削外部の地下水位が井戸枯れ，地盤沈下を誘発する危険水位まで低下していないことを確認しながら施工を進める．管理上は安定水位，危険水位の基準値に対して安全率を見込んだ管理値を定め，これを超えていないことを確認する．管理値を超えたときには計測強化，原因究明，対策検討などを直ちに行い，トラブル発生を防止する．

地下水対策においては水位だけでなく流量（揚水量，注水量など）の計測も重要である．流量自体が問題となるのは下水道使用料金の課金などであり，その多寡が直接的にトラブルの原因になることは少ない．しかし，水位変化と流量変化は密接に関係しているため，水位に異常がみられたとき，その原因がどこにあるかを把握し，対策を検討するために流量データは有効である．

水位および流量の計測データは，工事工程とあわせて経時変化図として整理し，その傾向を把握することが重要である．計測データが管理値を超えていなくても経時変化に異常な傾向が認められれば原因究明・対策検討を行うべきである．経時変化図において，急激な変化，不規則な変化，安定しない変化，今までと傾向の異なる変化，事前の予測と異なる変化などがみられたときは注意が

必要である．

水位や流量のデータ取得(計測)は行っていてもそのデータの評価(管理)が行われていないことが多い．とくに，多点・高頻度の計測を自動計測システムにより行っている現場では，計測が機械まかせになりデータを見ることもなく工事が進められる．トラブルが発生してからその前兆を示していた計測データに気づくことが多い．

4-2　トラブル発生時の対処

地下水トラブルが発生したときに一番怖いのは地下水とともに土砂が流出，噴出して地盤の変状・陥没が発生することである．水が噴き出していても土砂が出ていなければすぐに大きな地盤変状が起きることはない．土留め壁や掘削底盤からの出水・土砂噴出がみられたときは，まず土砂の流出を止める処置をする．**写真-5**のように土のうを積む方法，土砂を埋め戻す方法などがある．

土砂の流出を止めた後，水の流れを止める緊急対策を行う．出水元の帯水層に地下水位低下用の設備があればこれを稼働する．出水部を薬液注入工法などにより止水する方法もあるが，この場合，止水対策を行ったすぐ隣から新たな噴出が起きるなど「いたちごっこ」的な対応になりがちである．水の流れを止めるためには掘削内に水を張って内外の水位をバランスさせることが確実である．

このような応急対策を行った後に地下水位低下の設備を増設したり，止水対策を強化するなどの本格対策を実施する．いずれの場合も掘削途中段階での追加対策となるため，掘削前に施工する場合に比べて仮設備の設置や地下水噴出対策などの工費・工期を要することになる．トラブル発生前に処置することが重要である．



写真-5　土のう積みによるトラブル対策

⑤ おわりに

本講座第2回「地下工事における地下水トラブル」の終わりにあたって日経コンストラクション[2]に掲載されていた「トラブルを防ぐための10カ条」を引用・紹介させていただく．

① 地下水は正直だ．弱点があれば必ず突いてくる．
② 地下水は速い．特に圧力が伝わる被圧水は予想を上回る．
③ 地下水は止まらない．水みちができるまでの対処が勝負．
④ 地下水には必ず予兆がある．見逃さず原因を突き止めよ．
⑤ 地下水は変動する．瞬時のデータでは実態をつかめない．
⑥ 地下水にはリズムがある．周期的な動き方を把握すべし．
⑦ 地下水には地域差がある．数メートル離れても条件が変わる．
⑧ 地下水は遠方に及ぶ．思わぬところに影響が出る．
⑨ 地下水は通り抜ける．不透水層を過信するな．
⑩ 地下水は計り知れない．常に想定外の事態をイメージせよ．

トンネル工事における地下水トラブルの特徴と原因，対処法が的確にまとめられている．本稿のまとめとして銘記したい．

(文責：高坂信章・清水建設(株))

参考文献

1) 「地下水を知る」編集委員会：地下水を知る，地盤工学会，pp.115-122，2008.
2) 「地下水トラブル」を防げ，日経コンストラクション，1996年8月9日号，pp.22-45，1996.

文献紹介

解　説

特集/いま，日本が危ない，日本列島総点検シリーズ，その①道路トンネル編，防水ジャーナル，No.496，2013.3.

原史郎：大断面シールドの誕生秘話と維持管理，甕哲司，中井政一「大断面シールドによる地下鉄の設計と施工」(近鉄難波線複線機械化シールド工事)昭和44年4月号，土木技術，Vol.68，No.3，2013.3.

北川修三：トンネル水没を乗り越えて，上越新幹線中山トンネル，土木技術，Vol.68，No.4，2013.4.

特集/推進工事技士　頼もしいパートナー，月刊推進技術，Vol.27，No.4，2013.4.

神田政幸・渡辺健治・西岡英俊：土留め標準の概要と改訂のポイント，特集：鉄道設計標準(耐震・基礎・土留め)の改訂，基礎工，Vol.41，No.5，2013.5.

加藤尚・井澤淳：開削トンネルの耐震性能照査例，特集：鉄道設計標準(耐震・基礎・土留め)の改訂，基礎工，Vol.41，No.5，2013.5.

半野久光：首都高速道路における建設工事，地盤工学会誌，Vol.61，No.5，2013.5.

野焼計史：東京地下鉄(株)における最近の改良工事，地盤工学会誌，Vol.61，No.5，2013.5.

特集/地熱エネルギー，土木技術，Vol.68，No.6，2013.6.

特集/推進技術きほんのき，月刊推進技術，Vol.27，No.6，2013.6

研究・開発

特集/未来を拓くソリューション技術，月刊下水道，Vol.36，No.5，2013.4.

小林誠・諏訪薗和彦：トンネル坑内の粉塵低減工法「トラベルクリーンカーテン」，短時間で坑内の作業環境を飛躍的に改善，建設機械，Vol.49，No.5，2013.5.

若林孝・山根洋子：泥水式シールド・推進工事における残土量予測の適正化，水土の知，Vol.81，No.6，2013.6.

首都高速道路・大成建設・鹿島建設・鉄建建設：トンネルを地中で接合する「非開削工法」実用化，大都市の街路交通，地下埋設物への工事影響抑制する効果，特集/道路政策の技術研究開発，道路，Vol.867，2013.6.

寺戸秀和：トンネル供用時の維持管理用作業台車の開発，建設機械施工，Vol.65，No.6，2013.6.

計画・調査・設計

横井敏奉：玉石混じり砂礫層のシールド掘削工法について，農村振興，No.759，2013.3.

「美術館のような上野駅」に軍配，500億円を投じる東京メトロ銀座線の駅改装案，TOPICS，日経コンストラクション，2013年5月27日号，2013.5.

施　工

特集/管更生　北から南から，月刊下水道，Vol.36，No.3，2013.3.

特集/地下空間建設技術，基礎工，Vol.41，No.3，2013.3.

村上喜昭・吉崎文人・泉明良：ボックス型鋼管挿入工法による矩形サイホンの耐震対策，水土の知，Vol.81，No.2，2013.3.

特集/小土被りと近接施工，月刊推進技術，Vol.27，No.3，2013.3.

河田孝志：マレーシア・パハン・セランゴール導水トンネルにおける安全管理，建設機械，Vol.49，No.4，2013.4.

河野賢，田中明男，佐藤豪：水路トンネル工事における前方穿孔探査事例，水土の知，Vol.81，No.4，2013.4.

並行するシールドを非開削で一本化，首都高中央環状品川線大橋連結路工事(東京都)，ズームアップ　トンネル，日経コンストラクション，2013年4月22日号，2013.4.

特集/ケーシング立坑を進化させる，月刊推進技術，Vol.27，No.5，2013.5.

特集/土留め・山留め壁の本体利用，基礎工，Vol.44，No.6，2013.6.

多田博光：換気立坑のスリップフォーム採用による急速施工，4方向大断面トンネル交差部のスリップフォームによる連続施工，建設機械施工，Vol.65，No.6，2013.6.

内田桂司・和泉敏幸：マリーナ高速道路485工区工事，海底トンネル，鋼管矢板による二重締め切りボックスカルバートトンネル施工，建設機械施工，Vol.65，No.6，2013.6.

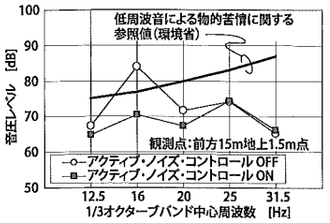
河野暢敬：インドネシア デンパサール下水道整備事業(ODA)，海外における推進技術，建設機械施工，Vol.65，No.6，2013.6.

岩田修・清水達郎：香港地下鉄西港線704工区工事，市街地における岩盤地下空洞の掘削及び構築，建設機械施工，Vol.65，No.6，2013.6.

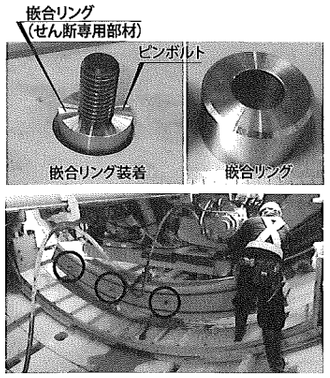
工法・技術・製品ニュース

工法　フジタ　シールド工事にかかわる2工法を開発





(上)回転式サブウーファー，(下)アクティブ・ノイズ・コントロール有無の比較



嵌合リング継手の使用形態

(株)フジタ　広報室
Tel 03-3402-1911
http://www.fujita.co.jp/

フジタは，泥水式シールド工事に用いる振動ふるいの超低周波音を低減の低減システムと，急曲線シールドに用いる新型セグメントを開発したと発表した．

【泥水式シールド工事の振動ふるいで低減効果を確認】

泥水式シールド工事では，発進基地に掘削泥水中の礫・土砂を分離する振動ふるいが設置されている．振動ふるいが稼働すると，ふるいの振動数に対応する純音性の超低周波音が発生する．振動ふるいの超低周波音対策は，騒音対策用の防音ハウスでは不十分であり，特殊な防音ハウスを使用するか，振動ふるいを覆うコンクリート建屋，大型吸音装置などの大規模な対策が必要となっている．同社では，振動ふるいからの超低周波音を打ち消す目的で2次音源に超低周波信号を高忠実かつ大出力で再生可能な回転式サブウーファーを用いた超低周波音発生装置によるANCシステムを開発し，泥水式シールド工法の現場においてフィードバック制御ANCの実証試験を行った．

ANCを適用しない場合，振動ふるいの前方15m地点と30m地点において，16Hz帯域で環境省の「低周波音による物的苦情に関する参照値」を上回る超低周波音が観測されていたが，ANCによって10dB以上の低減効果が得られ，環境省の参照値を下回るレベルまで低減できることが確認できたとしている．

【急曲線シールド工事で威力を発揮する「嵌合リング継手」】

「嵌合リング継手」は同社と石川島建材工業が共同開発したセグメント継手．近年の覆工品質の向上と施工期間の短縮を目的とした二次覆工一体型セグメントの使用が増えてきている一方，都市部の下水道などのシールド工事では，立地条件などから急曲線施工が多くなっており，セグメントリング間の継手に作用する大きなせん断力に対する補強方法が課題となっていた．

同継手は，使用する嵌合リングの材料強度・サイズを変更することで，予想されるせん断力に対して最適なせん断耐力を幅広く設定できる．これにより，二次覆工一体型セグメントの急曲線への適用範囲を大きく広げるとともに，1種類の継手でさまざまな曲線半径の施工に対応することが可能になったとしている．

この新型セグメント継手は，日本下水道事業団発注の雨水放流渠工事の急曲線部に採用し，覆工の高品質化と現場作業の大幅な省略ができることを確認した．

製品　CATがホイールローダ5機種とミニ油圧ショベルを発売



Cat® 938K

キャタピラージャパン(株)
コーポレートパブリックアフェアーズ・ジャパン
Tel 03-5717-1122
E-mail: cjl-public@cat.com

キャタピラージャパンは，道路工事で活躍するホイールローダ5機種と掘削・積込み・吊り作業に優れた能力を発揮する後方超旋回型ミニ油圧ショベルを発売した．

新発売のホイールローダは，バケット容量がそれぞれ0.4，0.5，0.6m³のCat® 901C，902C，903Cの3機種，バケット容量が1.0m³のCat® 907H₂およびバケット容量3.0m³のCat® 938K．いずれも環境性能に優れたエンジンを搭載し，938Kはオフロード法2011年基準に適合，その他は2006年基準に適合している．

3tクラスのミニ油圧ショベルCat 303E CRは303C CRのフルモデルチェンジ機で，性能はそのままに3tを切る重量を実現した．

一般社団法人
日本トンネル技術協会
会　報

1. 会員の現状

	7月31日現在
正　会　員	1,409名
団体会員	314名
個人会員	1,095名

2. 委員会の開催状況(7月1日～31日)

①運営広報関係委員会

◎総務委員会

広報小委員会会誌WG(7/2)

大島洋志主査ほか12名，8月号の会誌と3か月計画を検討

◎国際委員会

海外文献小委員会海外ニュースWG(7/23)

清水健志主査ほか9名，英文原稿を査読

◎事業委員会

40周年記念事業準備会(7/3)

久多羅木吉治主査ほか6名，委員会の構成と議事内容を検討

計　3回開催　30名出席

②調査研究関係委員会

◎技術委員会

安全環境小委員会自然由来重金属文献調査WG(7/16)

津金昭一主査ほか10名，文献内容確認結果を報告

◎受託研究特別委員会

小断面掘削工法特別検討会(7/8)

吉富幸雄委員長ほか10名，報告書原稿を検討

中流動覆工コンクリート特別委員会幹事会(7/24)

松岡茂幹事長ほか14名，報告書原稿を検討

大深度シールド設備特別検討会泥水WG(7/16)

河本武士主査ほか14名，報告書原稿を検討

大深度シールド設備特別検討会泥土圧WG(7/17)

守屋洋一主査ほか14名，報告書原稿を検討

大深度シールド設備特別検討会(7/29)

中村隆良委員長ほか25名，報告書原稿を検討

相鉄・JR・東急直通線検討委員会(7/18)

小山幸則委員長ほか52名，西谷工区現場視察，および施工方法を検討

補修補強調査特別検討会(7/30)

青木照幸委員長ほか10名，報告書原稿を検討

計　8回開催　157名出席

合計　11回開催　187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40回ITA総会およびコングレス「Tunnels for a better living」	2014. 5. 9～15	イグアス(ブラジル)	COMITE BRASILEIRO DE TUNEIS International Tunnelling and Underground Space Association (国際トンネル協会) http://www.wtc2014.com.br/
第41回ITA総会およびコングレス「Promoting Tunnelling in South East European (SEE) region」	2015.5.22～28	ドヴロヴニク(クロアチア)	Croatian Tunnelling Association International Tunnelling and Underground Space Association (国際トンネル協会) http://wtc15.com/
第42回ITA総会およびコングレス「Uniting Our Industry」	2016.6.12～15	サンフランシスコ(アメリカ)	Underground Construction Association of SME International Tunnelling and Underground Space Association (国際トンネル協会)

＊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．TEL：03-3524-1755　FAX：03-5148-3655

4. 平成25年度催物開催現況

（平成25年８月現在）

催物名	開催日	人数	場所	CPD取得単位
(現場研修会)				
横浜市下水道トンネル工事現場研修会 ―中部処理区本牧第二幹線―	2013. 5.16	20	神奈川県	2.5
東北道路トンネル現場研修会 ―国道106号新川目トンネル―	2013. 5.27	25	青森県	2.0
中部地区道路トンネル現場研修会 ―県道牛川トンネル(仮称)，新東名乗本トンネル―	2013. 6. 7	27	愛知県	3.5
中国地区道路トンネル現場研修会 ―東広島・呉道路金剛山トンネル―	2013. 7.18	16	広島県	1.8
北海道道路トンネル現場研修会 ―道道西野真駒内清田線(こばやし峠)トンネル―	2013. 8. 1	16	北海道	1.8
相鉄・JR直通線西谷トンネル現場研修会 **―西谷トンネル―**	2013. 9. 3	30	神奈川県	2.5
(施工体験発表会)				
第72回(山岳)「課題克服に取り組んだ工事―周辺環境への配慮，創意工夫，効率化―」	2013. 6.25	155	東京都	4.6
第73回(都市)「都市における創意工夫・新技術による地下構造物の施工事例」	2013. 6.26	93	東京都	5.3
(講演・講習会)				
第15回ステップアップ研修会(シールド部門)	2013.10. 2, 3	30	東京都	13
第16回ステップアップ研修会(山岳部門)	2013.12. 5, 6	30	東京都	9.9

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

ステップアップ研修会のご案内

事業委員会

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

■第15回トンネル技術ステップアップ研修会(シールド部門)

本研修会では，シールド工法の計画から設計，施工，維持管理までの実務的な講義と参加者自ら取り組む具体的なプロジェクト計画に即した演習問題などによる研修を，７人の経験豊富な各種分野の専門技術者の方々を講師として実施する予定です．

開 催 日：平成25年10月２日(水)，３日(木)
会　　場：日本印刷会館２階「201会議室」住所：中央区新富１丁目16番８号
研修内容：初　日：調査・計画から施工までの講義，シールドの常識非常識討論会
二日目：設計・維持管理の講義，グループによるシールド計画問題の実施と解答発表
定　　員：30名(定員になり次第締切りいたします)
参 加 費：会員36,000円，一般60,000円(教材代，消費税含む)
そ の 他：研修内容のプログラム，申込方法，支払方法の詳細はwebサイトをご参照願います．

■第16回トンネル技術ステップアップ研修会(山岳部門)

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

開 催 日：平成25年12月５日(木)，６日(金)
会　　場：日本印刷会館２階「201会議室」住所：中央区新富１丁目16番８号
研修内容：初　日：調査と実際の乖離，設計と実際の乖離，補助工法とトラブルなどについての講義と討論会(主として現場での課題について)
二日目：「膨張性地山，崩落性地山，大湧水地山，地質想定困難な地山でのTBM施工」におけるトンネル工事で学んだこと，類似工事で対応すべきことの講義
定　　員：30名(定員になり次第締切りいたします)
参 加 費：会員36,000円，一般60,000円(教材代，消費税含む)
そ の 他：研修内容のプログラム，申込方法，支払方法の詳細はwebサイトをご参照願います．

10月号予告[10月1日発売予定]

- ●フライアッシュを用いたトンネル覆工用高充塡コンクリートの開発
- ●九州新幹線西九州ルート(諫早・長崎間)のトンネル概要
- ●川崎市上下水道　大師河原貯留管
- ●ITA総会および世界トンネル会議報告

【連載講座】

- ●トンネルにおける地下水対策(3)

＊内容等は変更になる場合がございます

編集後記

◆津軽海峡線は，今年で開業25周年を迎えました．この路線には，ご存じのように青函トンネルがあります．同トンネルは，戦前より構想が持ち上がり，戦後に調査が開始され，幾多の困難を乗り越え，昭和63年に開業しました．

◆青函トンネル内には「吉岡海底駅」と「竜飛海底駅」の二つの海底駅がありますが，新幹線工事のため，吉岡海底駅はすでに休止しており，唯一残っていた竜飛海底駅も11月10日の特急停車を最後に事実上廃止になるようです．これにより，国内から海底駅がなくなります．まだ，見学をされていない方は，ぜひこの機会に訪れてみてはいかがでしょうか．

◆本誌と青函トンネルは，約30年の長きにわたりかかわってまいりました．発刊当初より多くの施工や研究論文を，また，導坑や本坑貫通，開業時には特集号として，世紀のビックプロジェクトをご紹介しました．供用後も維持管理に関する論文が数件あります．同トンネルは，多くの技術開発と長期にわたる労力により，その後のトンネル建設に多大な貢献をしました．2015年度の開業に向け北海道新幹線の工事は進行中ですが，新幹線が海底トンネルから姿を現すのを心待ちにしています．

(K.K)

★購読の申し込み，または，送付先変更などの問い合わせは(株)土木工学社までご連絡ください．
★(一社)日本トンネル技術協会会員の方の住所(送付先)変更は直接(一社)日本トンネル技術協会へご連絡ください．

トンネルと地下
第44巻 第9号〔通巻517号〕
ISSN 0285-631X
Tonneru to chika
平成25年8月20日　印刷
平成25年9月1日　発行

一般社団法人 日本トンネル技術協会
会長　佐藤　信彦
〒104-0045　東京都中央区築地2丁目11番26号(築地MKビル6階)
TEL：03-3524-1755
FAX：03-5148-3655
http://www.japan-tunnel.org
発行所　株式会社土木工学社
〒162-0832　東京都新宿区岩戸町16番地メイジャー神楽坂
TEL：03-3267-2888
FAX：03-3267-2807
http://www.tunnel.ne.jp
発行人　山本 育徳
編集人　山本 勝誉
印　刷　新協印刷株式会社

本誌の購読について

■購読をご希望の方は，書店または土木工学社へ直接お申し込みください．

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

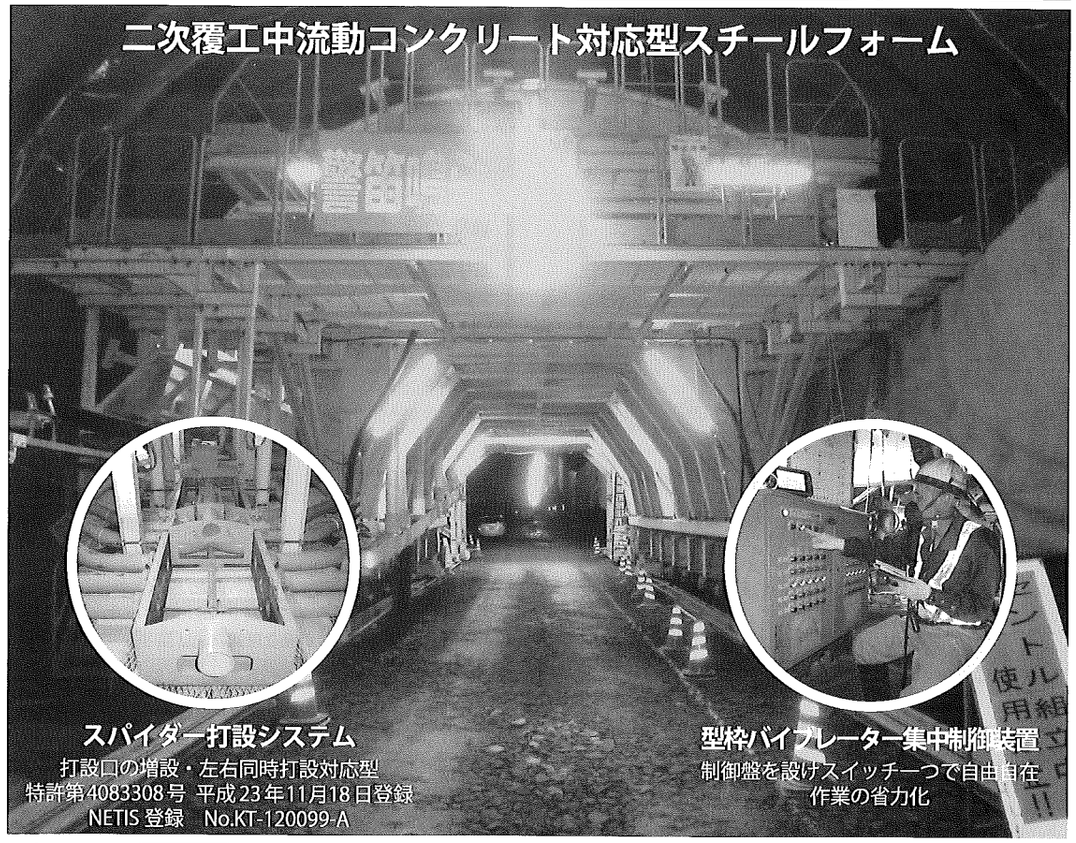
購読料
1冊　1,575円(送料108円)
　　(本体価格　1,500円)
1年　15,000円(前納)
振替　00110-8-190072

本誌広告のお申し込み方法

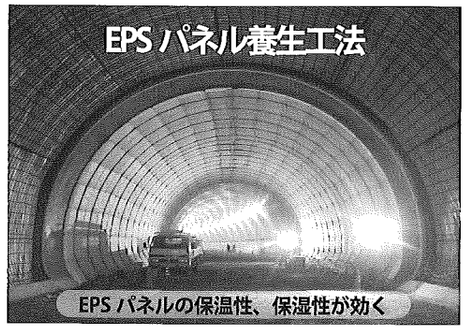
本誌への広告掲載は小社「トンネルと地下」営業部までご連絡ください．
TEL：03-3267-2888

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

トンネル二次覆工型枠総合メーカー



新しいタイプの覆工コンクリート養生システム



実績および計画		
施主	実績	計画中
国土交通省	24	1
NEXCO	6	1
地方自治体	14	0
鉄道・運輸機構	1	0

平成25年6月30日　現在

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

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

図書案内

株式会社 土木工学社

山岳トンネル設計の考え方



今田　徹　著
3,200 円＋税　B5 判

地山の力学状態を表す理論式から導かれる地山挙動の特徴を図表などを用いて手際よく説明した．トンネル掘削における工学的な理解を深化させる一冊．

続 きみの庭にも温泉が出る



石井康夫・俣野恭寛　共著
1,200 円＋税　新書判

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

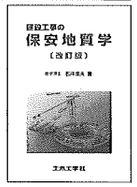
わかりやすいトンネルの発破技術



山田隆昭　監修
1,500 円＋税　B5 判

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

建設工事の保安地質学〔改訂版〕



石井康夫　著
6,000 円＋税　A5 判

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

多様化するシールド掘進技術



シールド工法技術協会　監修
2,500 円＋税　B5 判

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

地質工学概論



菊地宏吉　著
4,757 円＋税　B5 判

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

推進工法の理論と実際



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

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

シールドトンネルの新技術



シールドトンネルの新技術研究会　編
4,660 円＋税　B5 判

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

わかりやすい土木地質学



大島洋志　監修
2,500 円＋税　B5 判

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

地下水の科学Ⅰ～Ⅲ（全 3 巻）



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

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

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

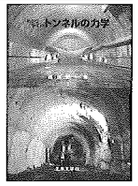
セグメントの新技術



小泉　淳　監修
2,000 円＋税　B5 判

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

わかりやすいトンネルの力学



福島啓一　著
5,825 円＋税　B5 判

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

トンネル工事の衛生と環境保全



臼谷三郎・橋本康孝・友田　孝　共著
3,200 円＋税　A5 判

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

ブロック理論と岩盤工学への応用



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

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

岩盤の計測と解析



鈴木　光　著
4,200 円＋税　A5 判

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

山岳トンネルの新技術



ジェオフロンテ研究会　編
14,573 円＋税　B5 判

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

わかりやすいトンネル技術入門〈都市トンネル編〉



橋本定雄・松本崇義・松本正敏　共著
2,800 円＋税　A5 判

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

ジオテキスタイル設計マニュアル



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

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

海洋資源開発



稲田善紀　著
3,400 円＋税　A5 判

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

岩盤地下空洞の設計と施工



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

岩盤内に地下空洞の設計を行うための地盤工学上の基本的事項について詳述した．

トンネルと地下



1,500 円＋税　B5 判　月刊（毎月 1 日発売）

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

建設工事の地質診断と処方



石井康夫・矢嶋壯吉　共著
4,300 円＋税　A5 判

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

書籍のお申し込み

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

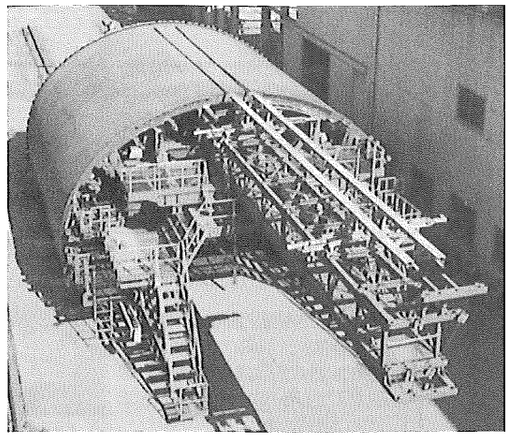
（株）土木工学社
〒 162-0832　東京都新宿区岩戸町 16　メイジャー神楽坂
TEL: 03 3267 2888　Fax: 03 3267 2807

各種トンネル覆工型枠・施工設備メーカー

東和機電工業株式会社 頴田（かいた）工場

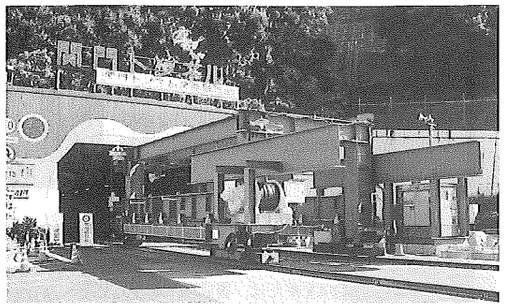
〒820-1111　福岡県飯塚市勢田（せいた）2594番地の18
電　話：(09496)2-3500(代表)
ＦＡＸ：(09496)2-6310
E-mail：towakiden@yahoo.co.jp

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

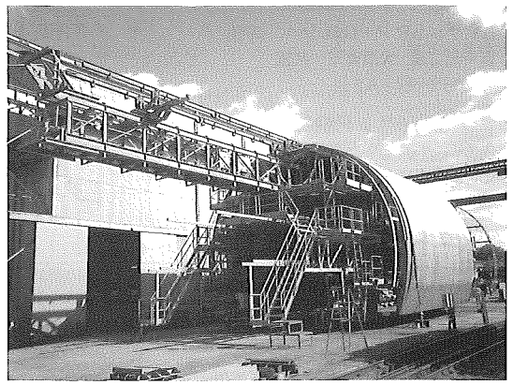


◎強靭なガイドセルに支えられたトンネルクラウン部の締め固めバイブレーターは，前進後進同一の力で抜き差し出来ます．
◎円周方向にスライドするガイドセルは，クラウン部の任意の位置にセットする事が出来ます．
◎ガイドセルの上昇・下降により，任意の高さを締め固める事が出来ます．

● トンネル床版撤去架台
勾配対応四駆型(関門トンネル)



● 新幹線用ステンレスフォーム

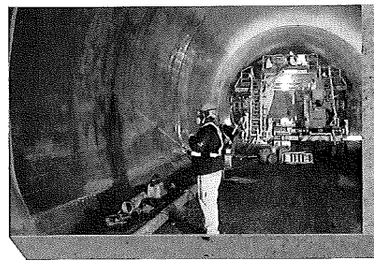


● 自動ケレン装置



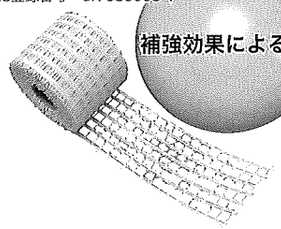
- ベルコン通過型スライドフォーム(特許)
- ロータリー式自動配管切替装置
- 油圧式伸縮バイブレーター装置
- ラップ側押上防止センサー及び警鳴装置
- クラック防止用ラップウレタンゴム
- コンクリート圧力センサー
- コンクリート充填センサー
- 2段式伸縮型エア抜き
- 本坑通過型非常駐車帯セントル
- 横移動式桟橋

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



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

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



補強効果によるひび割れ幅低減

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

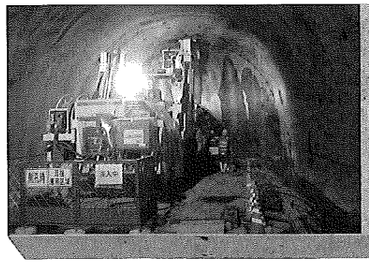


コンクリート収縮抑制

養生効果

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





様々な現場で力を発揮する注入材、裏込材“最適な選択をご提供”

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

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