

信頼の品質

技術提案に好適!! デンカの特種混和材

デンカの液体急結剤
初期強度発現がバツグン
《デンカクリアショット》

NETIS:KT-080020

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**

- ・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》
デンカクリアアップ2

- ・安定した低粉じん吹付けが可能
- ・確かな初期強度、長期強度発現性
- ・付着性が大きく、跳ね返りが少ない

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
コンクリート補強用合成繊維
STRUX 85/50L

- ・高品質な覆工コンクリートが得られます

◆トンネル関連製品

- ・デンカPFモルタル、PFモルタルTYPE-K・・・小断面・TBM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CG-1000、CG-2000・・・可塑性モルタル用混和材

DENKA

電気化学工業株式会社

セメント・特混事業部 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

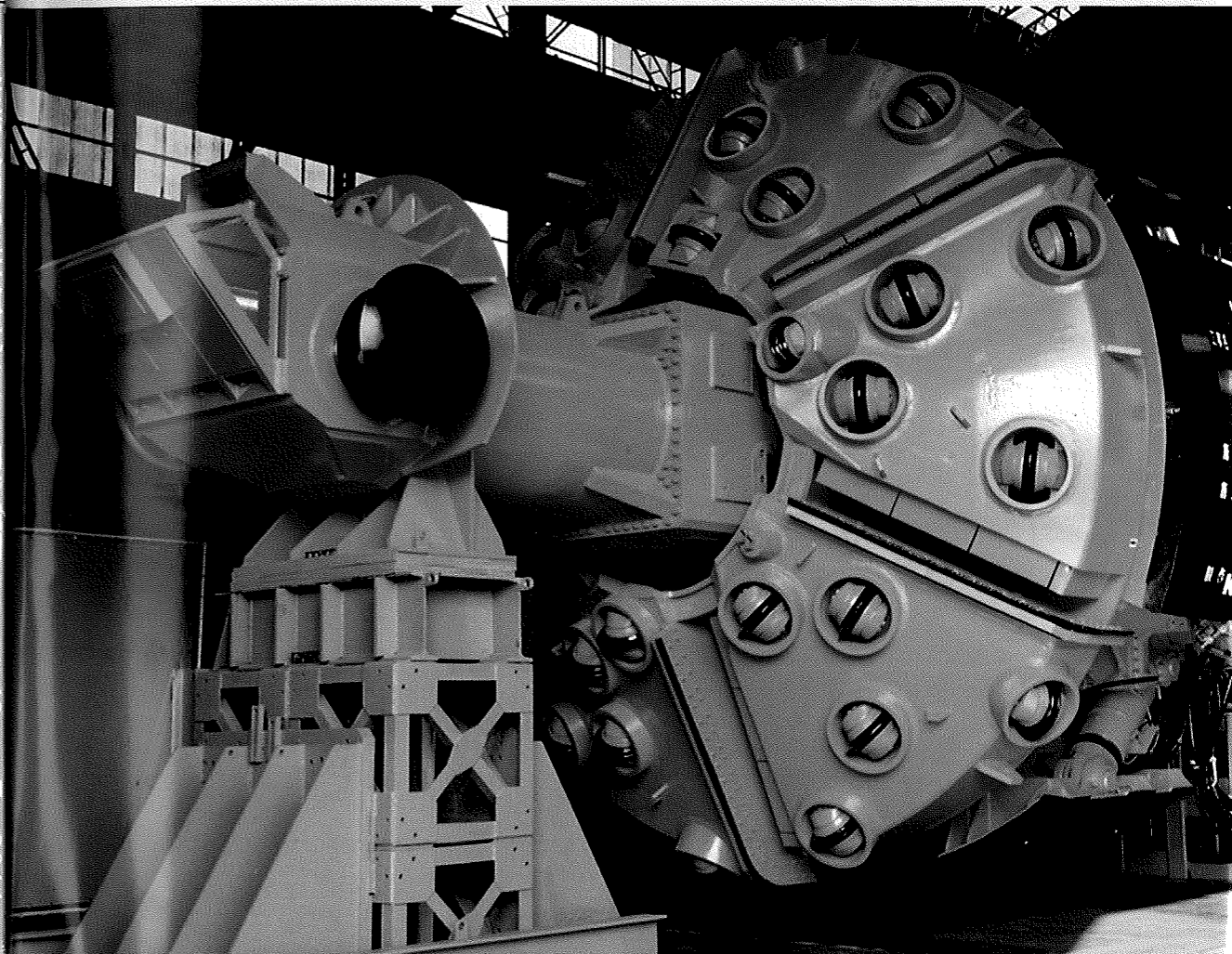
坑口部の地すべり対策に三次元解析を適用し無事突破
雲仙眉山の山体崩壊による扇状地性堆積地帯を掘る
軟弱層開削工事における土留め管理
水圧管路用の長大斜坑をTBMで掘削
覆工の初期ひび割れの発生メカニズムとその抑制対策

日本トンネル技術協会誌

JTA
32
KR

水圧管路用の長大斜坑をTBMで掘削

vol.42 no.7 2011



定価 1,575円
本体価格1,500円

雑誌06619-7

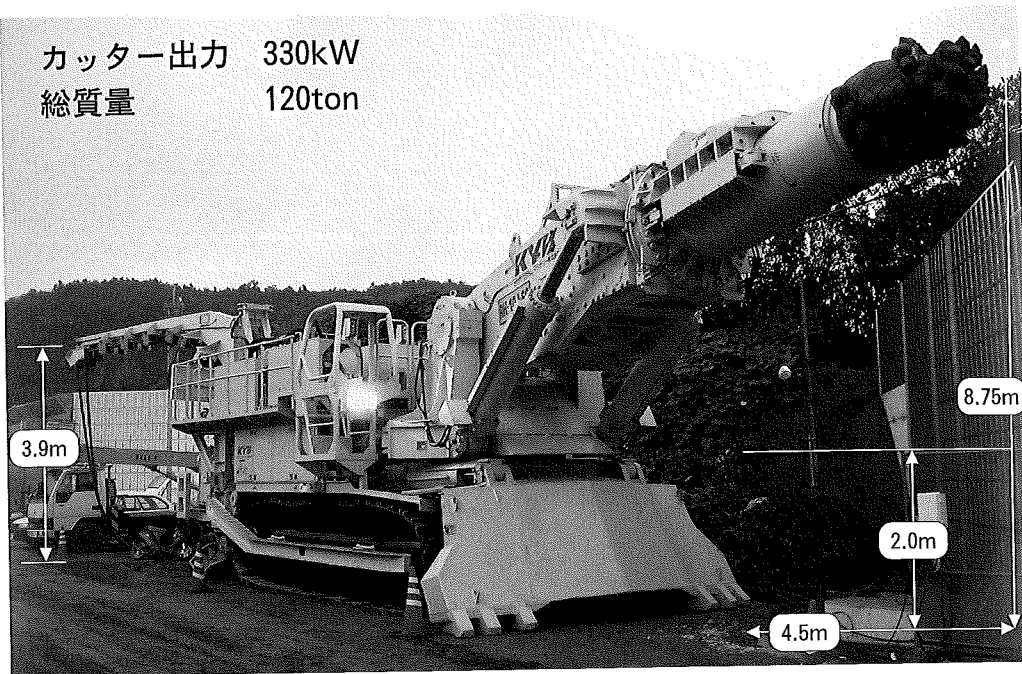


4910066190712
01500

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10.5m（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4.5m
- ・高圧水ジェット噴射で粉塵抑制とピック消費量低減。
- ・接地圧が低く、軟弱地盤にも対応。

KYB カヤバシステム マシナリー株式会社

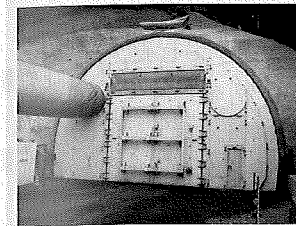
KAYABA SYSTEM MACHINERY CO.,LTD.

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

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

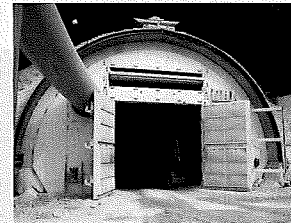
快適な作業環境を提供する騒音対策システム

～25年の実績が最大級の安心をご提供いたします～



【防音扉】

HFS型 マークII
HFS型 ロック式
HFS型 マークII 10c
HFS型 マークII 15c



防音扉には生産物賠償責任保険(対人)が付いております。

『防音扉マークII』の音響性能

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

『防音扉ロック式』の音響性能

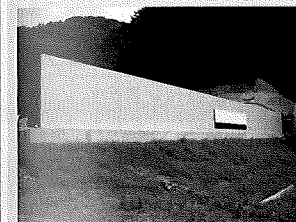
対策	騒音レベル	低周波音圧レベル
1基設置	19 dB(A)	17 dB
2基設置	28 dB(A)	26 dB

『防音扉マークII 10c』の音響性能

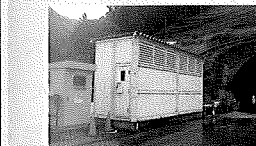
対策	騒音レベル	低周波音圧レベル
1基設置	19 dB(A)	20 dB
2基設置	29 dB(A)	33 dB

『防音扉マークII 15c』の音響性能

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



【防音壁】 【防音ハウス】 【防音シェルター】 【防音ボックス】



Sタイプ(スタンダードタイプ)

Dタイプ(デラックスタイプ)

Hタイプ(ハイデラックスタイプ)

『防音パネルSタイプ』の音響性能

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

『防音パネルDタイプ』の音響性能

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

『防音パネルHタイプ』の音響性能

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

【建設騒音対策協会】

株式会社 牛尾商店
株式会社 野佐和商会

株式会社 カテックス
株式会社 ビーエスアイ

株式会社 ティーエムシー
古河ロックドリル 株式会社

日豊 株式会社

E-mail: souon@fuse-ind.co.jp

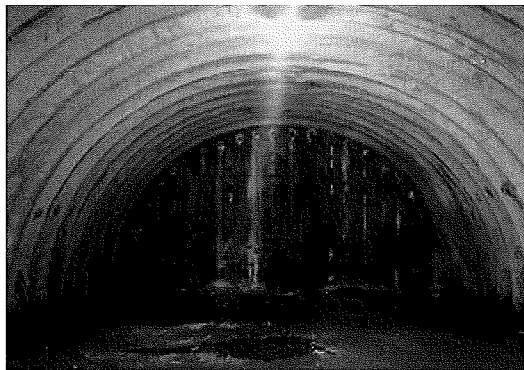
◆防音設備の設計、製造、施工、リース
◆建設業登録 東京都知事 許可 般-20 第130153号

株式会社 ヒューズ

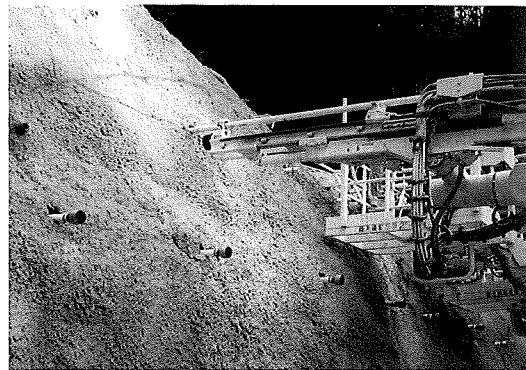
○本 社 〒132-0035 東京都江戸川区平井 6-35-5 TEL. 03-3617-8111 FAX. 03-3617-7565
 ○大阪営業所 〒531-0072 大阪府大阪市北区豊崎 3-4-14 ショーレイビル TEL. 06-6359-2611 FAX. 06-6359-2288
 E-mail: info@fuse-ind.co.jp <http://www.fuse-ind.co.jp>

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

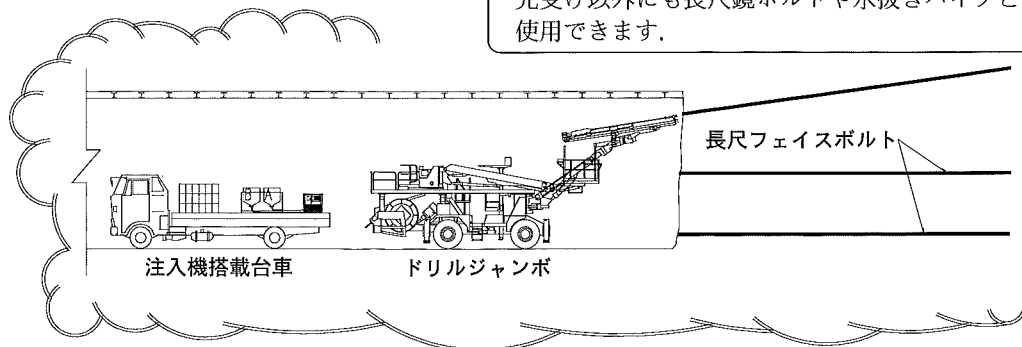
プロトタイプ
無拡幅タイプ
最小拡幅タイプ

小口径二重管削孔システム

鋼管径φ89.1mm～60.5mm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。

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!



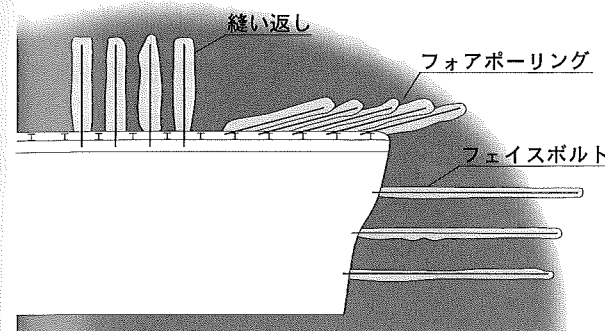
注入材のバリエーション

- 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
 - ・ガンパンスーパー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
東京支店
TEL)03-3260-8321 FAX)03-3266-1648
九州営業所
TEL)092-574-0856 FAX)092-574-0846

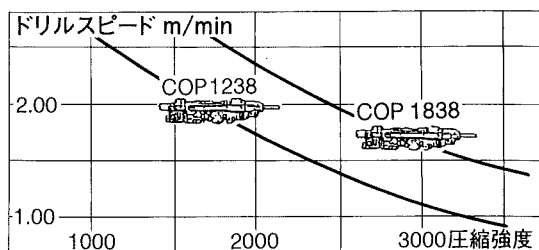
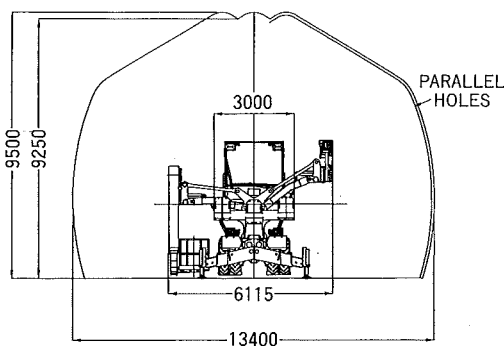
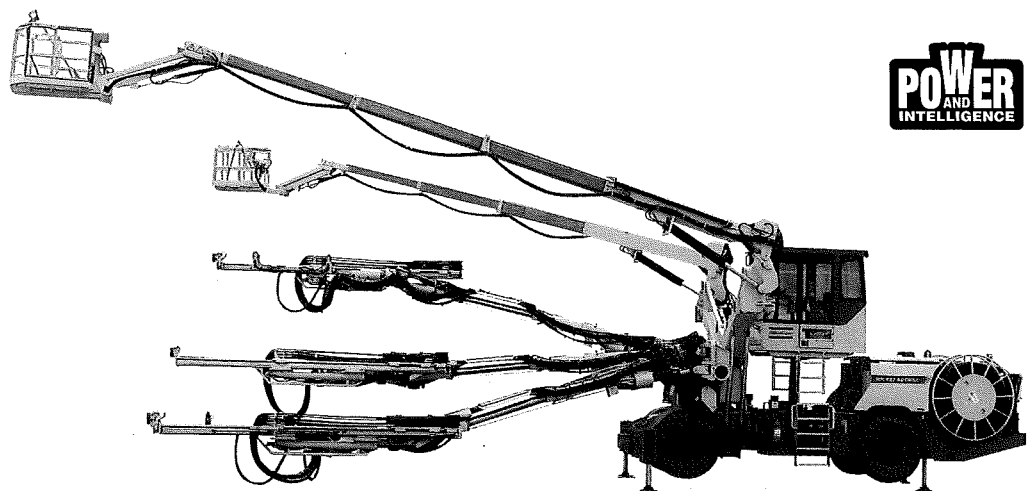
中部営業部
TEL)052-331-8821 FAX)052-332-0164
関西営業所
TEL)06-6578-3235 FAX)06-6578-3237
北海道地区(株エイチ・アール・オー)
TEL)011-821-5868 FAX)011-821-6644

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

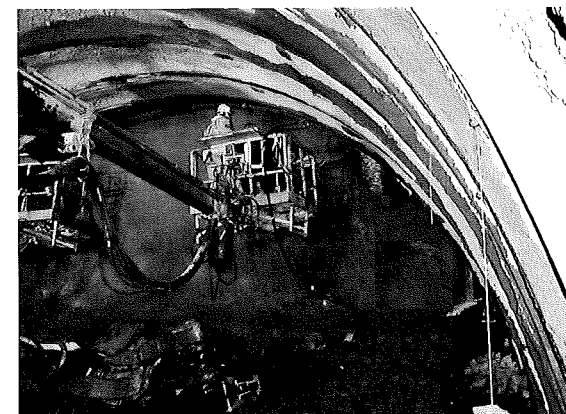
DRILL MACHINE CO., LTD.

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榎原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

補助工法・注入材のことならティーエムシー

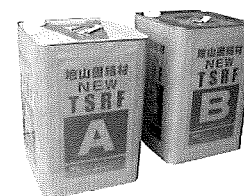
AGF-OFP工法

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



各種注入材

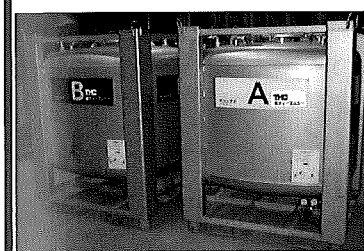
NEW-TSRF (シリカレジン)
 NEW-TBU (ウレタン)



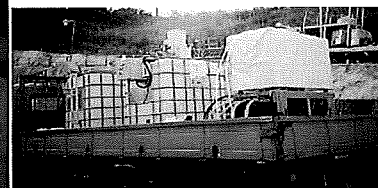
※その他各種工法、セメント系注入材など、詳しくは当社ホームページをご覧ください。

環境に配慮したリサイクルコンテナシステム

NETIS登録番号 : KK-100048-A (2011/1登録)



◎リサイクルコンテナ(左)と現場への搬入風景



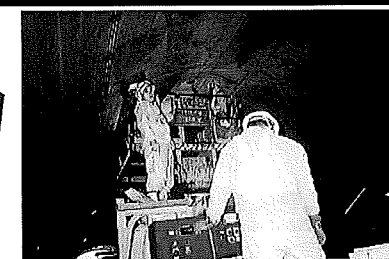
当社のリサイクルコンテナシステムなら、一斗缶の産業廃棄物処理がなくなるため、工事もスムーズに進みます。現場にも環境にもやさしいシステムです。

トンネル補修もティーエムシーにお任せください

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

NTRフォーム12(12倍発泡)
 NTRフォーム30(30倍発泡)
 NTRフォーム40(40倍発泡)

※その他の倍率等詳細は当社ホームページにてご確認ください。



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



株式会社ティーエムシー ホームページ : <http://www.tmc-net.com/>

お問合わせ・お見積のご相談はお近くの当社事務所まで

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

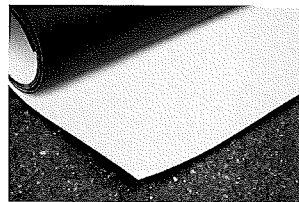
ウォータータイトトンネル 防水システム



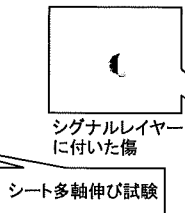
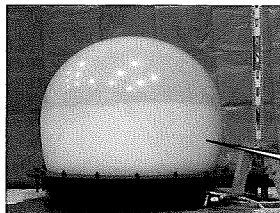
非排水型防水システム用メンブレン
KFCタイトライナー

シート防水材

- KFCタイトライナー
追随性・溶着性・耐破損性の優れた防水シート
- シグナルレイヤー
防水シート損傷部の発見が容易なシグナルレイヤー付防水シート
- 裏面緩衝材
長繊維不織布から透水性の優れた立体網状体まで豊富なバリエーション

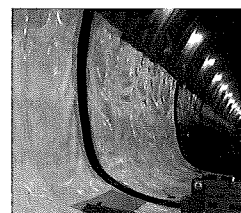
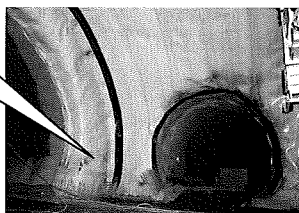


シグナルレイヤー付防水シート



シグナルレイヤーに付いた傷

シート多軸伸び試験



基本システム

- ウォーターバリア
打継目からの漏水防止および漏水範囲の限定
- コンタクトグラウト
被圧された地下水から防水シートの損傷防止

漏水対策システム

- ストリップグラウト
打継目からの漏水対策
漏水発生ブロックの特定
- リペアシステム
クラックや打継目からの恒久止水対策

KFC 株式会社 ケー・エフ・シー

土木資材事業部(東京) TEL(03)3570-5223 FAX(03)3570-5233
土木資材事業部(大阪) TEL(06)6363-1884 FAX(06)6313-0755

1本1本が大切! だから

次世代 防食 ロックボルト

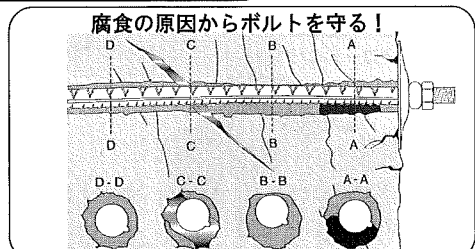
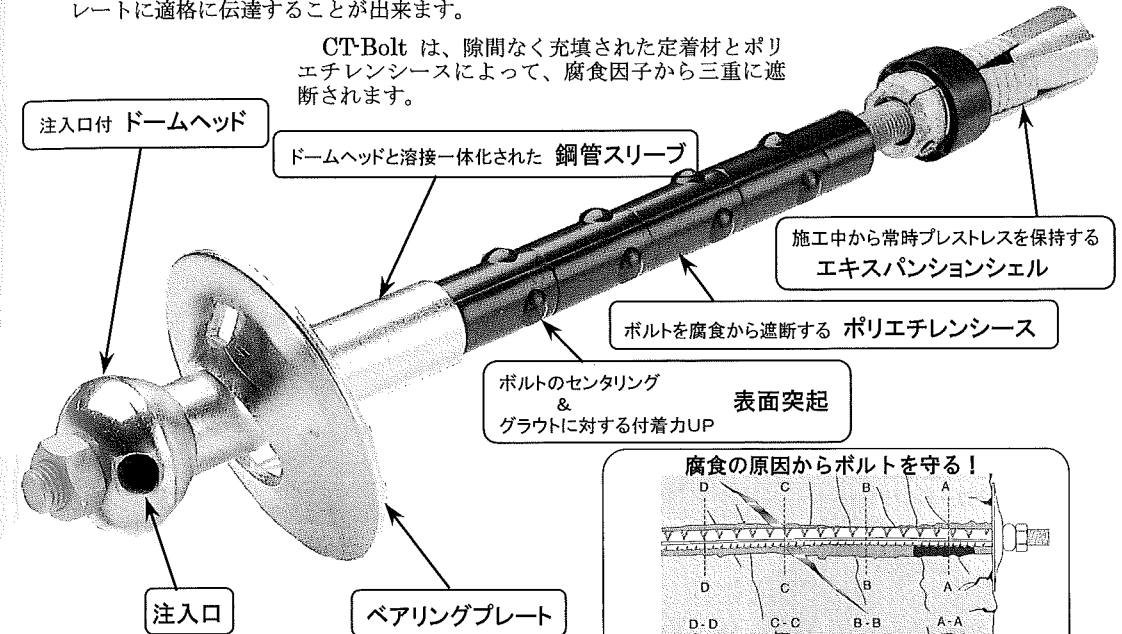
CT-Bolt

Orsta Stål

通常施工により超長期支保

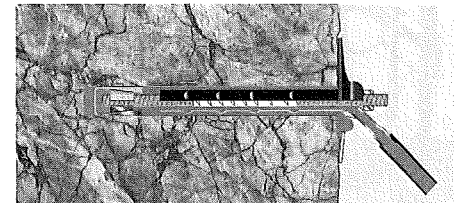
CT-Bolt は、施工直後からプレストレスを導入し、特殊半球型ドームヘッドにより、地山の動きに伴う荷重をベアリングプレートに適格に伝達することが出来ます。

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



CT-Bolt の定着は・・・

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



用途:

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

完全充填

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

総発売元

Your Fastening Partner

KFC 株式会社 ケー・エフ・シー

〒135-8073 東京都江東区青海2丁目4番32号タイム24ビル

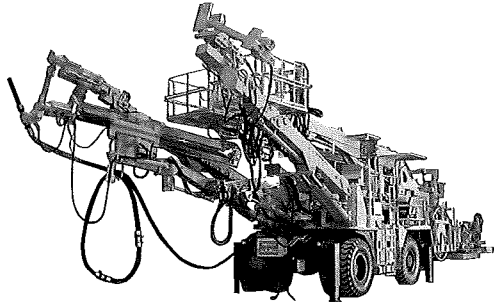
お問い合わせ先 TEL: 03-3570-5182
技術部 FAX: 03-3570-5191

山岳トンネル施工機械、鉱山・採石機械の総合レンタル企業

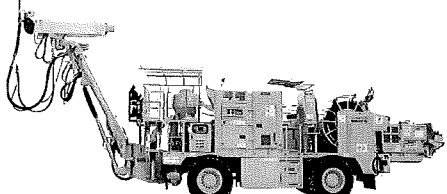


スコーパーン

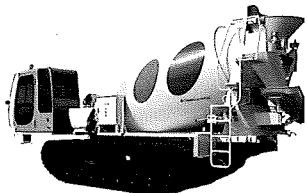
第3次トンネル工事用排出ガス対策型/オフロード法認可



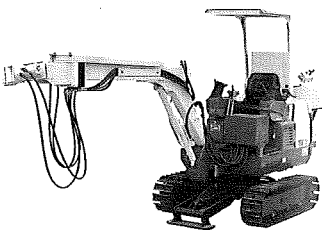
EJS
第3次トンネル工事用排出ガス対策型



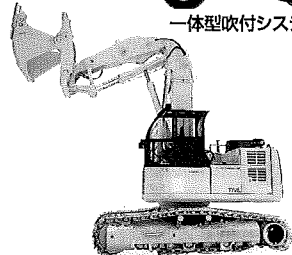
一体型吹付システム



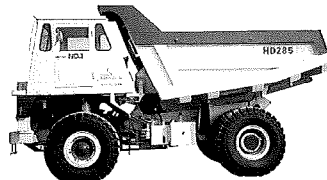
ゴムクローラ式ミキサー車



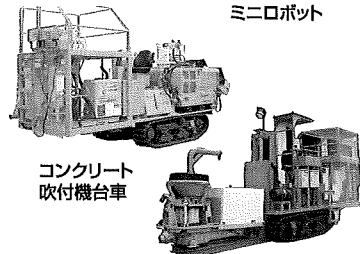
ミニロボット



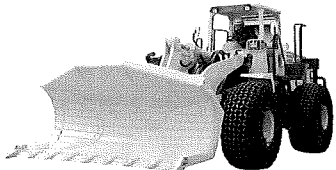
油圧ローディングショベル



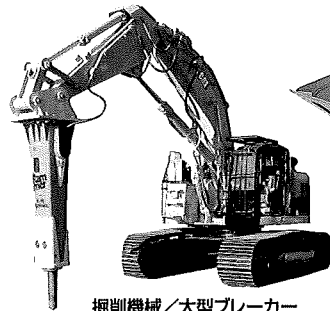
ダンプトラック



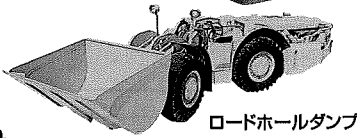
コンクリート吹付機台車



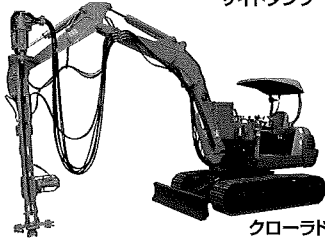
サイドダンプ



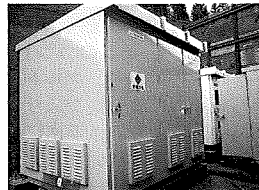
掘削機械/大型ブレーカー



ロードホールダンプ



クローラドリル



フリック対策機 (インバータ方式:SVG)

T&M ニシオティーアンドエム株式会社

Tunnel & Mining

<http://www.nishio-tm.co.jp/>

■ 本社管理本部・技術開発本部 〒567-0853 大阪府茨木市宮島3-2-18 TEL 072-634-3939
 ■ 営業推進本部 〒141-0022 東京都品川区東五反田4-5-3サコスビル7F TEL 03-3280-3661

■ 北海道支店 〒061-3241 北海道石狩市新港西3-737-16 TEL 0133-72-3715
 ■ 関東支店 〒389-0506 長野県東御市祇津字元会下1080-9 TEL 0268-62-1426
 ■ 大阪支店 〒569-0836 大阪府高槻市唐崎西2-26-1 TEL 072-677-2101
 ■ 九州支店 〒882-0024 宮崎県延岡市大武町779-1 TEL 0982-26-2111

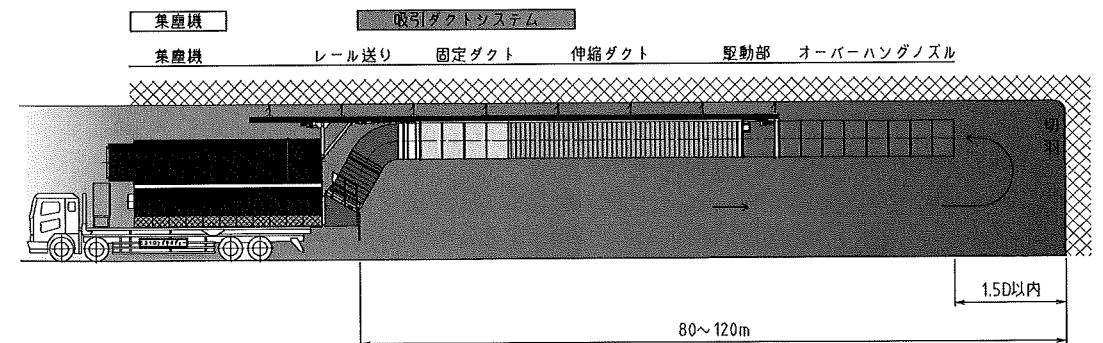
時代は吸引捕集方式へ

換気・環境技術は進化しています



軽量吸引ダクトシステム
SUPER LIGHT
 オーバーハンダ

拡散希釈方式は業界では限界に近づきつつあり、
 省エネ・CO₂削減を合わせ持った新しい換気方式
 が求められています



最適環境を創造する

株式会社流機 エンジニアリング

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

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



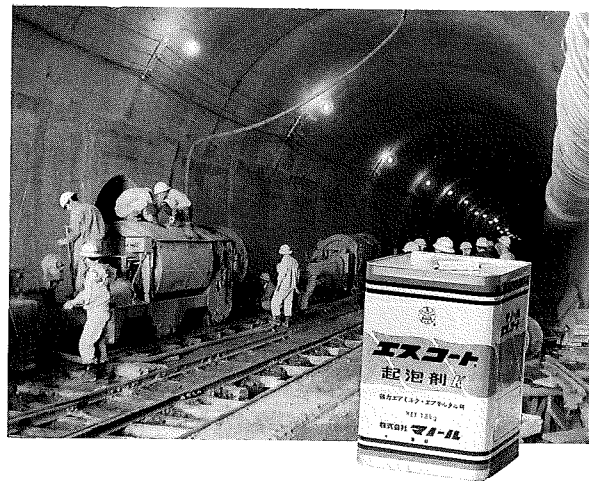
〈工期短縮，即日仕上り〉

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

◆ 土木資材の総合プランナー ◆



株式会社 **マイール**

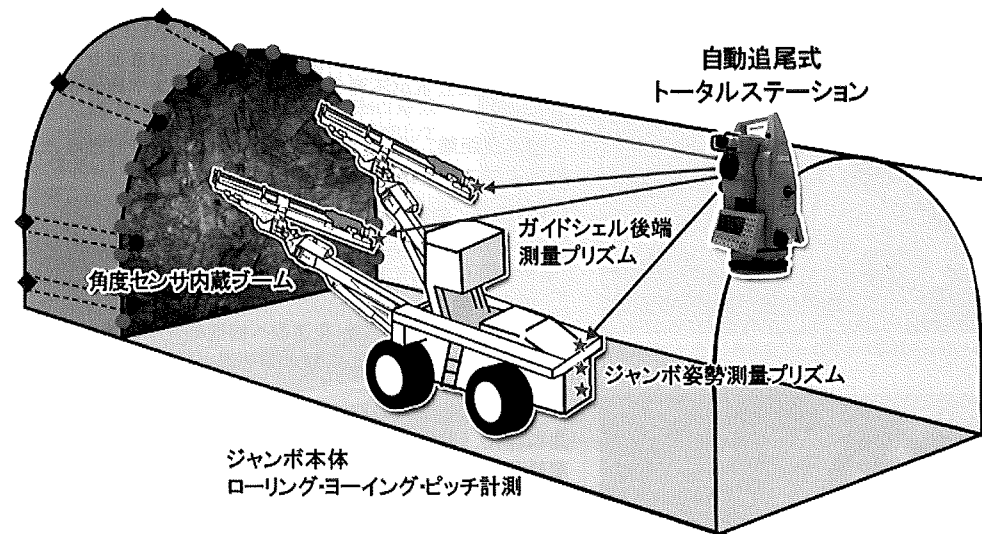
〒120-0047 東京都足立区宮城 2-4-16
TEL 03(3927)1331(代)

NETIS登録番号:KK-100049-A

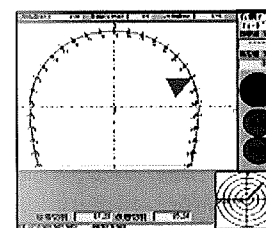
自動追尾式余掘り低減システム

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 千葉県市川市曾谷8-16-3

TEL:047-371-3191 FAX:047-371-3190

FRD 古河機械金属グループ
古河ロックドリル株式会社
FURUKAWA

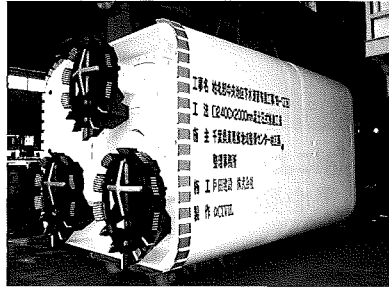
〒103-0027 東京都中央区日本橋1-5-3
特機部

TEL:03-3231-6966 FAX:03-3231-6993

超流バランスセミシールド工法

ボックスカルバート推進工法

施工場所：千葉県柏市若葉地内



多軸自転・公転掘進機(内空寸法□2400×2000)

本工法は、有効断面を最大限に確保し、低土被り、長距離、急曲線の安全で迅速かつスムーズな密閉型矩形推進工法を確立しました。

先行工事としての角鋼管水平土留工やボックスカルバートの密閉型推進工法に活用可能です。

- ◆低土被りが推進可能(H=1.5m程度まで可能)
- ◆PC・RCボックスカルバート函体および角鋼管にて対応可能
- ◆密閉型のため切羽の安定性に優れ、地山の緩みを防止可能
- ◆完全密閉型式多軸方式の高トルク掘進機のため、多様な土質に適用可能で迅速な施工を実現可能

リターン回収掘進工法

施工場所：東京都渋谷区神宮前



φ1016mm長距離パイプルフ掘進機(リターン回収型)

本工法は、掘進機を発進基地に迅速に引き戻せる機構としたことで、到達立坑が不要となり、大幅なコスト削減が可能となりました。

特に長距離、曲線パイプルフ施工として有効なため、工期短縮およびコスト削減が図れる画期的な工法です。

- ◆長距離・曲線パイプルフとして適用可能
- ◆通常のJIS鋼管にて対応可能(鋼管φ812~φ1219mm)
- ◆継ぎ手付鋼管においても先行継ぎ手カッターにてスムーズな掘進が可能
- ◆到達回収立坑が不要(発進側へ掘進機内部装置を回収可能)
- ◆密閉型掘進機構ゆえに無水層~滞水層まで対応可能

巨礫・岩盤破碎型掘進工法

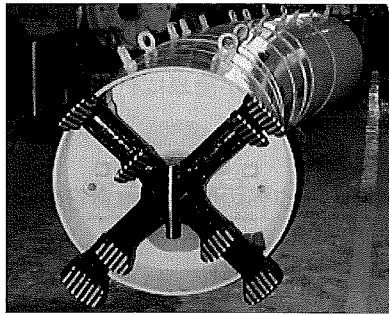


φ1500mm破碎型掘進機

本工法は泥濃式の取込方式の長所を生かしながら、破碎方式を兼ね備え、取込径以下の不要な破碎を行わないため、ビットの耐磨耗延長を従来の2倍以上とし、巨礫に対応しながら長距離推進を可能としました。

- ◆破碎型掘進機：呼び径φ600~φ1650に対応が可能
- ◆岩盤層実績 26件、延べ延長L=10.0km
- ◆巨礫層実績 47件、延べ延長L=15.6km
- ◆破碎型急曲線実績 R=15m(φ800、巨礫層)
- ◆破碎型長距離実績 L=619m(φ1000、巨礫層)

長距離・急曲線推進工法



φ800mm超急曲線掘進機(R=9.3m対応機)

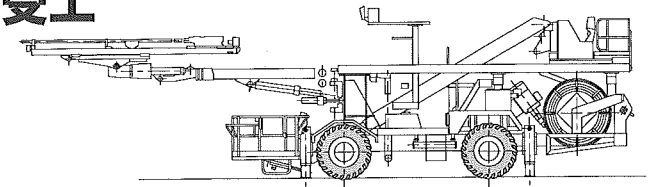
本工法は泥濃式の中でも特に高トルク、超急曲線機能・超長距離安定機能の開発を進め、玉石砂礫層~軟弱層の広範囲の土質に対応できる画期的な掘進機を開発してきました。

- ◆呼び径φ600~φ2400に対応が可能
- ◆排土口径が大きいため、取込型掘進機でも管呼び径の40%程度の玉石等の抽出が可能
- ◆通常の泥濃式の送泥水注入と固結型滑材注入に加え掘進機外周からテールボイド安定材の注入、さらにテールボイド拡幅装置(TRS)を装着することで切羽の安定と良好なテールボイドの構築が可能
- ◆超急曲線掘進機は多段中折れ機構により管呼び径の40~15倍程度まで曲線施工が可能

環境対応型長尺鋼管先受工

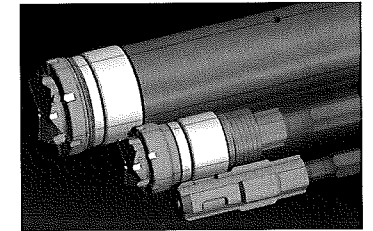
TOHO **AGF** System

All Ground Fastening;
Long-Distance, Fore-Piling Method

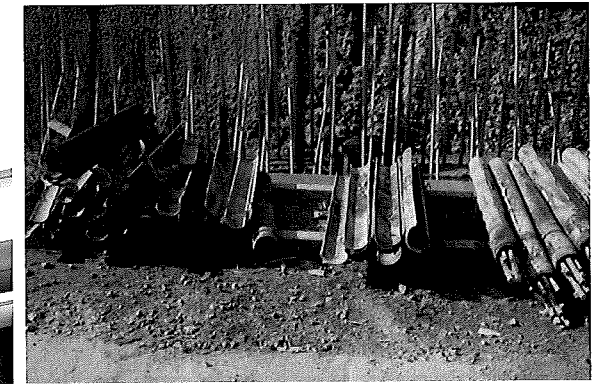
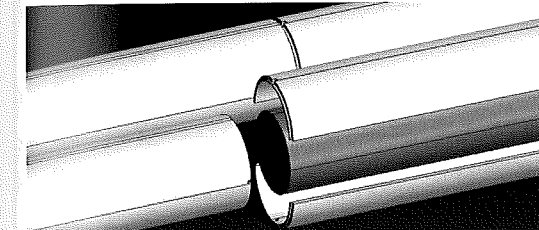


AGF-Me工法

- ◆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。

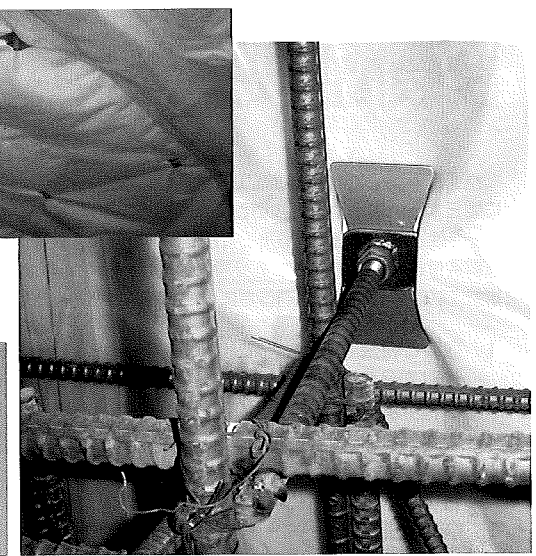
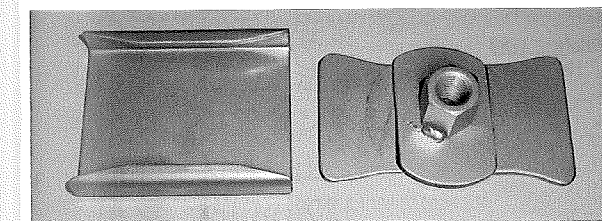


防水シート非貫通型鉄筋吊り金具

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パー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)。



株式会社アルファシビルエンジニアリング(超流セミシールド協会)

〒812-0015福岡市博多区山王1丁目1番18号

TEL(092)482-6311 FAX(092)482-6363

E-mail: arfa@oregano.ocn.ne.jp

URL <http://www.alpha-civil.com>

建設コンサルタント登録番号：建18第8677号

測量登録番号：登録第(1)-30507号

建設許可番号：国土交通大臣許可(特-18)第19193号

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 トーキョーオール

〒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CO2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おります。

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。

<http://www.lswb.co.jp/micro-tunnelling/> 月刊推進技術

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



月刊推進技術 編集室

<http://www.lswb.co.jp/micro-tunnelling/>

〒135-0046 東京都江東区杜丹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@lswb.co.jp

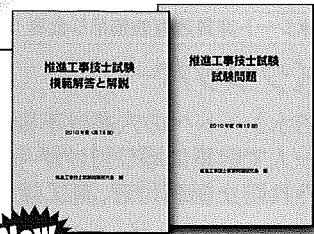
推進工事技士試験 過去9年間(平成14~22年度)

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(財)日本下水道管渠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じて、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利用いただければ幸いです。



平成22年度版発売中!!

1. 内容と特長

- 過去9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)の出版箇所を明記

2. 価格

各年度単体に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。

株式会社 LSプランニング

http://www2.ocn.ne.jp/~ls_siken/

〒135-0046 東京都江東区杜丹2-2-3-105
電話 03-5621-7850 FAX 03-5621-7851 E-mail oda@lswb.co.jp

新刊案内

山岳トンネル設計の考え方

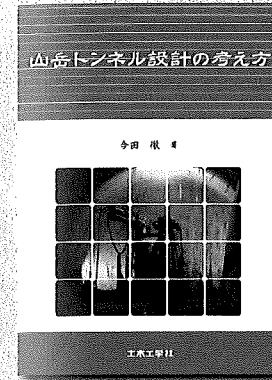
東京都立大学名誉教授

今田 徹 著



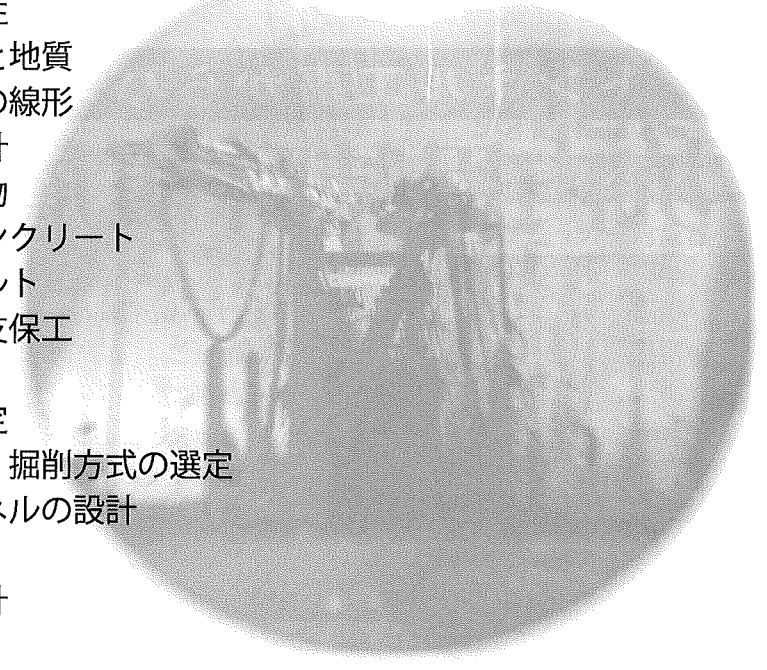
B5判 183頁 上製本 定価3200円+税

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

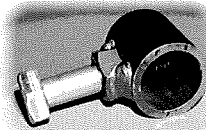
コストダウンを可能にする Kリング・Kプレート

施工方法等詳細については下記までご連絡ください

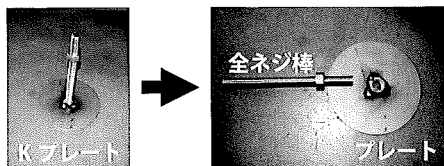
製造・販売元 **静岡スチール**

〒436-0342 静岡県掛川市上西郷 765-1
TEL: 0537-24-3886 FAX: 0537-24-3859
Mail: ktk@r5.dion.ne.jp

① **アーチ鉄筋組立金物 (Kリング)** 特許出願中 (特願 2001-309314 号)
トンネル施工時の覆工工事におけるアンカー筋に段取り筋を設置する際のコスト、安全、工期、品質の向上を可能にすることができます。

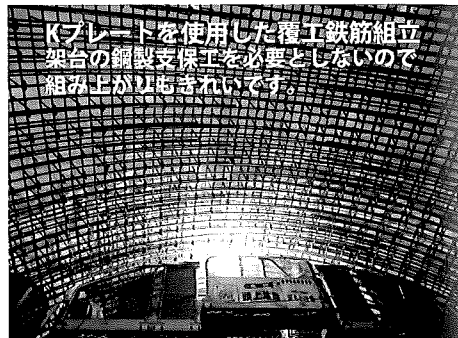


② **防水シート接着ジベル筋 (Kプレート) 組立**
ウォータータイト (全周止水) トンネルにおいて覆工コンクリートの鉄筋を自立させることによって、鉄筋受け架台の鋼製支保工コストの大幅削減を可能にすることができます。

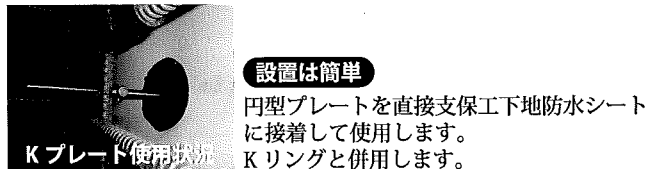


コンパクトサイズ

Kプレートは分割方式により現場での組立が可能です。ナット付きのプレートと全ネジ棒



Kプレートを使用した覆工鉄筋組立架台の鋼製支保工を必要としないので組み上がりが早いです。



設置は簡単

円型プレートを直接支保工下地防水シートに接着して使用します。Kリングと併用します。



トンネル進捗率改善のための最新技術

明かりが見えます

トンネルが貫通するまでの長い道のりの中で、工事完了までの間に大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可能です。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ジョン爆薬の結果をご覧になることができます。これらにすべて、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。



トンネル工事からパンクを追放

坑内用特殊複層タイヤ



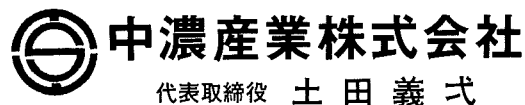
特許第1610830号

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

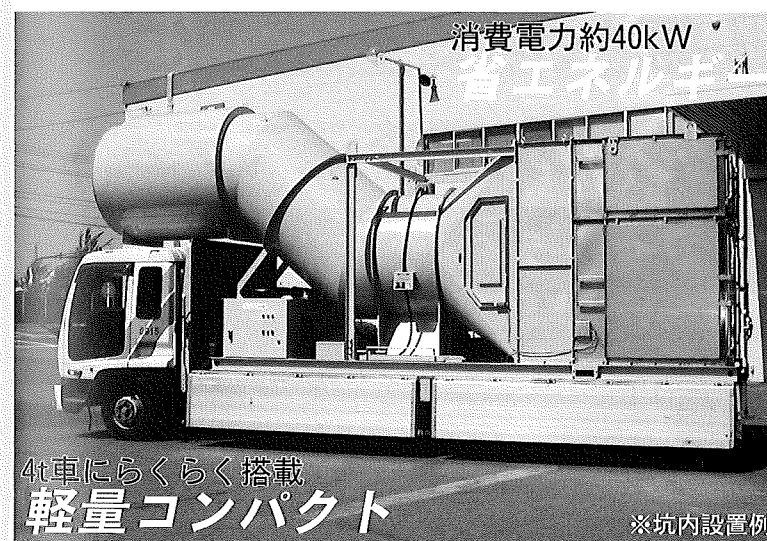
0~20 (約2年) 20~30 (1年6か月)
30~40 (約1年) 40~50 (6か月)

【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)



代表取締役 土田 義 式

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



消費電力約40kW
省エネルギー

4t車にらくらく搭載
軽量コンパクト

※坑内設置例

National電気集塵機クリンジェット(2,000m³/minタイプ)



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

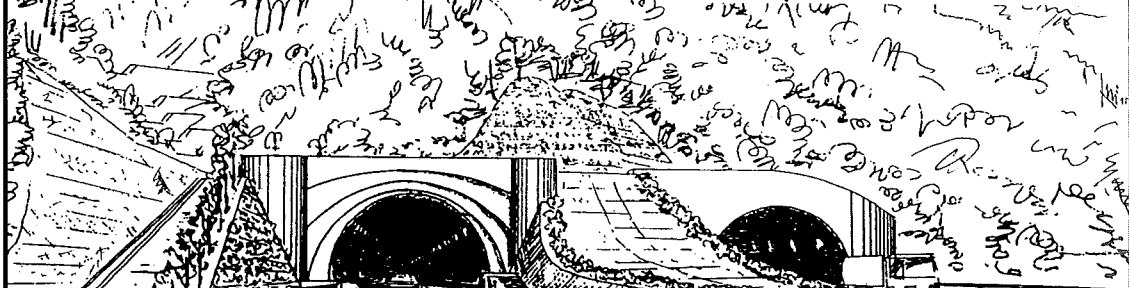
特機営業課 担当者 工藤

〒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

道路,トンネル設計 (本体外工,換気,防災,照明,施工管理他)

トンネル現場診断



(社) 建設コンサルタント協会会員 ISO9001取得

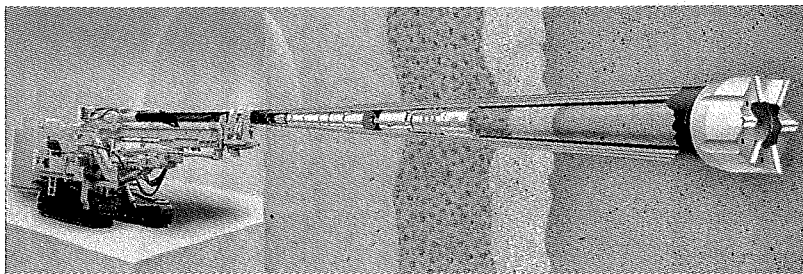
株式会社 ロード・エンジニアリング

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

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

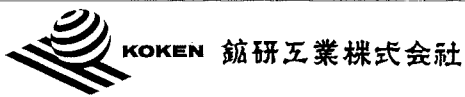
トンネル掘さくの安全施工に
アロードリル前方探査システム

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ま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、地質条件にかかわらず、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。



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

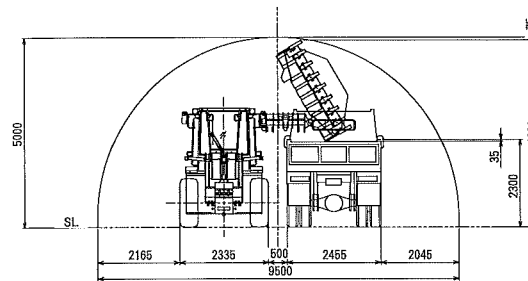
お問い合わせ先 : 工事営業本部
 TEL. (03)6907-7512 FAX. (03)6907-7522
<http://www.koken-boring.co.jp>



サイドダンプ

CAT 924H

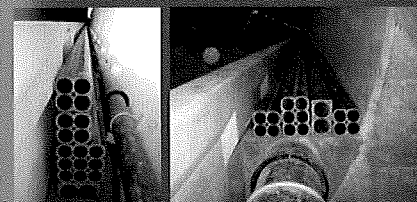
1.5m³



klea 株式会社 ケイリー

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

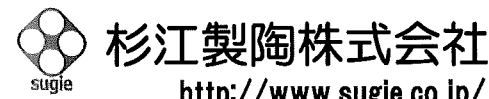
URL <http://klea.catrent.com>



— 特長 —

標準管の長さは65cmの新規格
 接続はカップリング方式で
 簡単スピーディー

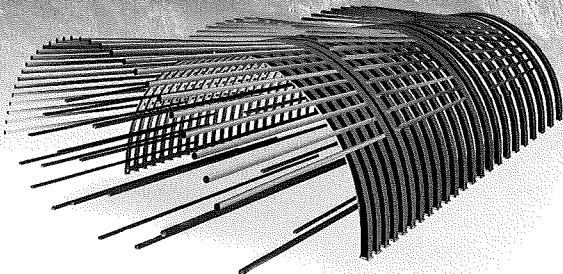
セラダクトAネオは燃える
 ことはありません。
 「安全・安心」な道路建設に
 トンネル内地中埋設管路
 セラダクトAネオ
 『不燃材』
 neo



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

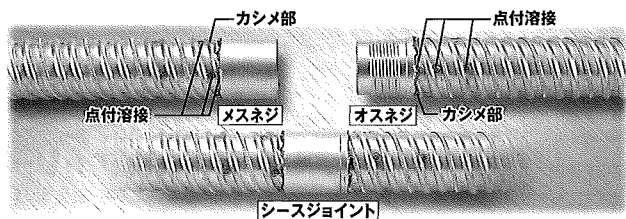
本 社・工 場 愛知県知多郡武豊町字上山一丁目76番地 〒470-2387
 TEL(0569)35-2360(代) FAX(0569)35-4087
 東 京 支 店 東京都渋谷区恵比寿一丁目21番8号セラ51ビル 〒150-0013
 TEL(03)3442-6181 FAX(03)3442-1691
 大 阪 支 店 大阪市都島区御幸町1丁目3番1号 〒534-0012
 TEL(06)6922-6991 FAX(06)6922-2498

ユニークな発想と高品質・自信の価格



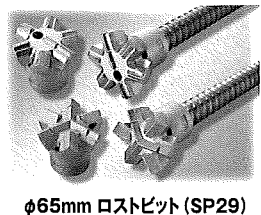
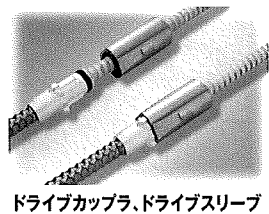
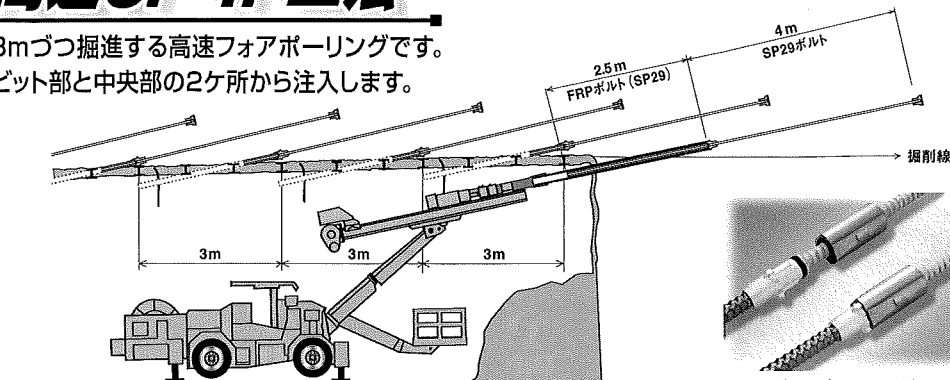
FIXチューブ工法

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

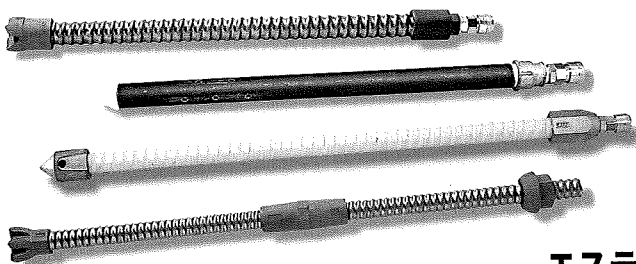


高速SP-IF工法

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



自穿孔ボルト&注入管



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



エスティーエンジニアリング株式会社

ST ENGINEERING CORPORATION

〒581-0833 大阪府八尾市旭ヶ丘1丁目108番地2

TEL:0729-90-0250 FAX:0729-90-0251

http://www.st-eng.co.jp

濁水処理からズリ出しまで トータルにフォローアップいたします

環境にやさしい TWS 型濁水処理シリーズ

小規模のpH中和装置～ダム骨材用の大規模処理装置まで対応します



【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

《汎用車両全般》



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



10T ミキサー



4.5m³ベッセル搭載ダンプ



10T 低床ダンプ



10T ダンプ

各種車両 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

CONTENTS CONTENTS CONTENTS CONTENTS CONTENTS CONTENTS CONTENTS CONTENTS CONTENTS CONTENTS CONTENTS CONTENTS CONTENTS CONTENTS

■巻頭言

トンネルの建設から管理まで

—安全・安心をお届けできる技術の創出へ—

大津 健次5

■研究

覆工の初期ひび割れの発生メカニズムとその抑制対策

高山 博文・増田 康男51

■施工

坑口部の地すべり対策に三次元解析を適用し無事突破

—国道168号十津川道路 今戸トンネル—

辻脇 崇・徳永 博・古山 貴久・高橋 岳大7

雲仙眉山の山体崩壊による扇状地性堆積地帯を掘る

—国道251号島原中央道路 眉山トンネル—

今村 泰介・西島純一郎・上野 博務・福田 秀樹15

軟弱層開削工事における土留め管理

—東京メトロ日比谷線 入谷駅出入口新設工事—

若澤 利幸・蠣原 実・柏原 貴彦・二井 克延35

水圧管路用の長大斜坑をTBMで掘削

—九州電力 小丸川発電所—

長崎 義美・内田 浩平・赤嶺 広史・榛葉 良平43

■連載講座

最新推進工法技術(2)

—大中口径管推進工法(1)—

「最新推進工法技術」連載講座小委員会61

■現場だより

「自然豊かな遠州の奥座敷」引佐町より

酒井 康至50

■語り継ぎ 言ひ継ぎ行かむ

シールド技術に、生きて生かされて

岩井 義雄25

■資料

土木情報

編集部60

工法・技術・製品ニュース

編集部72

トンネルジャーナル

編集部71

海外文献速報

JTA国際委員会74

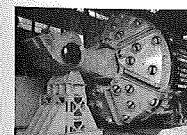
■会報

会報

日本トンネル技術協会76

【表紙説明】

水圧管路用の長大斜坑をTBMで掘削
—九州電力 小丸川発電所—



小丸川発電所は、宮崎県中央部を流れる小丸川支流に築造した上部調整池と小丸川本流に築造した下部調整池間の有効落差646mを利用して発電を行う純揚水式発電所である。上部調整池と発電所を結ぶ水圧管路のうち上部斜坑は、延長888.7m、径6.1m、勾配48度の長大かつ急勾配で、径2.7mの導坑掘削用TBMにより掘削し、その後、拡幅掘削用TBM(リーミングTBM)により径6.1mまで拡幅する工法を用いた。施工にあたっては、TBMの滑落防止設備としてTBMで切削可能なインバートライナの開発、弱層部対策などを実施した。写真は、リーミングTBMである。

【写真提供：九州電力(株)】(本文43頁参照)

ヤマモト (岩がんき) 無騒音 無振動 静かな破碎

超大型油圧破碎機 YTB 1120

トンネルビッカー

ヤマモトロックマシン株式会社

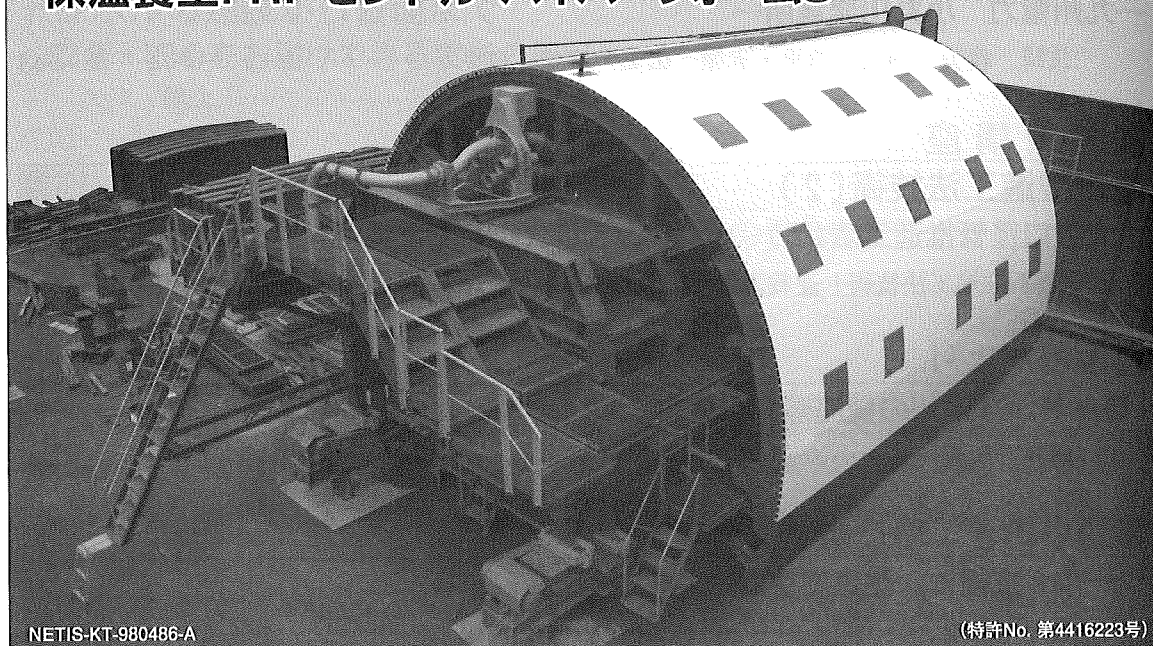
本社 東京都千代田区丸の内3丁目2番3号富士ビル ☎(03) 3201-0701(代)

工場 広島県庄原市東城町36番地 ☎(08477) 2-2137(代)

仙台営業所 (022) 262-4531(代) 大阪営業所 (06) 6531-1571(代) 高知営業所 (0888) 22-1367(代) 九州営業所 (092) 471-0381(代)

高品質・高耐久 覆工コンクリートを目指して

保温養生FRPセントル ハイパーフォームG

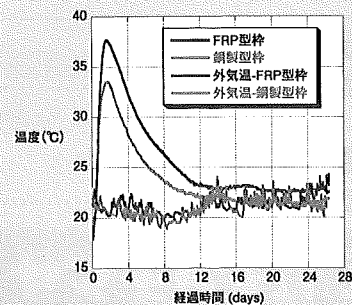


NETIS-KT-980486-A

(特許No. 第4416223号)

■覆工コンクリート温度の経時変化

[宮崎大学との共同研究により、胸アジタ 吉江トンネル南にて測定]



◎3~4℃の保温効果により、コンクリート強度が15~20%向上

■鋼製型枠との比較

項目	単位	ハイパーフォームG	鋼製型枠
基準サイズ	mm	900×10500×55	300×1500×55
重量	N/m ²	145.1	405
比重		1.8	7.8
曲げ強度	MN/m ²	294.2	333.4
剛性E・I	N・m ⁴	3.66×10 ⁴	5.39×10 ⁴
熱伝導率	W/(m・k)	0.30	46.5
線膨張率	1/℃	1.0×10 ⁻⁵	1.1×10 ⁻⁵
光線透過率	%	2.2	0

特徴

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

M.K.E 株式会社 エムケーエンジニアリング

※九州営業所は下記の住所に移転しました。

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

総務委員会広報小委員会会誌WGの構成 (五十音順・敬称略)

〔主 査〕

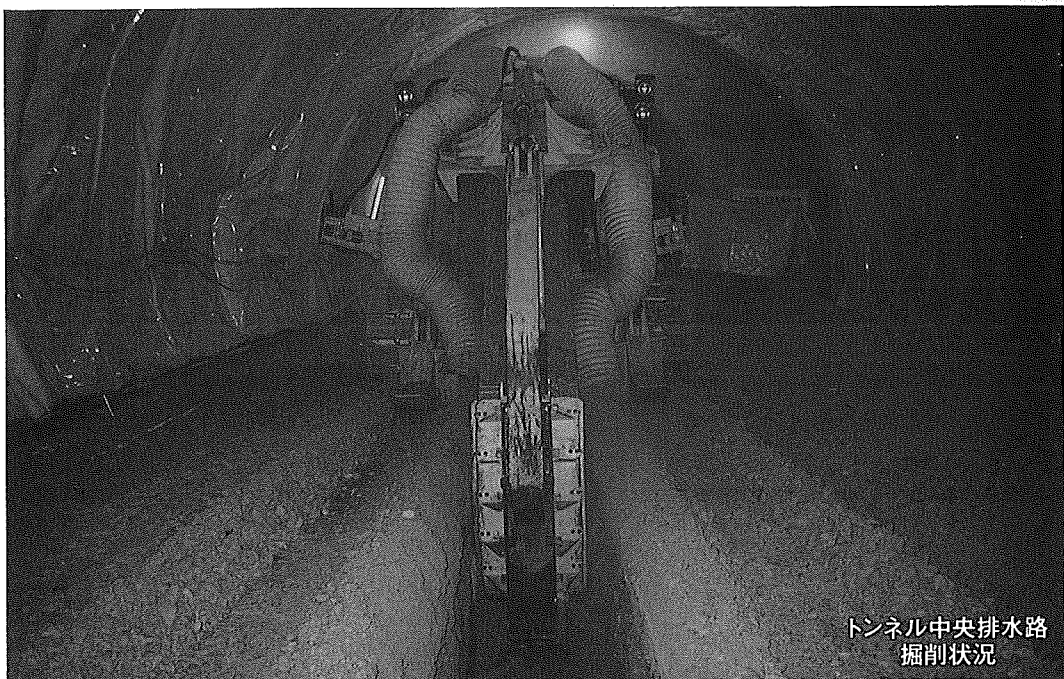
大 島 洋 志 国際航業株式会社上席フェロー技術センター長

〔幹 事〕

居 相 好 信 株式会社大林組東京本社生産技術本部 トンネル技術部部长	城 間 博 通 株式会社高速道路総合技術研究所 道路研究部トンネル研究担当部长
池 田 豊 人 国土交通省大臣官房技術調査課技術企画官	濱 建 介 株式会社ANET取締役
大 石 敬 司 東京地下鉄株式会社鉄道本部改良建設部 改良建設企画課課長	福 家 佳 則 鹿島建設株式会社土木管理本部土木工務部 トンネルグループ長
金 山 洋 一 独立行政法人鉄道建設・運輸施設整備支援機構 鉄道建設本部計画部計画課長	松 原 利 之 飛鳥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长
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	三 浦 克 株式会社竹中土木常務執行役員
志 岐 寛 清水建設株式会社土木技術本部地下空間統括部 部长	領 家 邦 泰 大成建設株式会社土木本部土木技術部 トンネル技術室参与

トレンチャー

硬質地盤の溝堀はトレンチャーをお試し下さい。



トレンチャーの性能・諸元

トレンチャーの種類	TRS-985	1175/D7	40/30	60/35
メーカー名	テスメック	テスメック	マステンブルグ	マステンブルグ
掘削幅(最小) cm	45	75	70	70
掘削幅(最大) cm	60	100	110	110
掘削岩の硬さ(最大)	500kg/cm ²	700kg/cm ²	700kg/cm ²	1000kg/cm ²
重量 t	36	53	50	59
長さ m	13.0	10.8	14.0	15.4
幅 m	2.5	3.2	2.95	2.98
高さ m	3.30	2.86	3.00	3.20
エンジンの出力 PS	300	402	450	600

※掘削岩の硬さは目安になります。詳細はご相談ください。



ワールド開発工業株式会社

●本社/営業部 〒381-0101 長野県長野市若穂綿内7484
 ☎(026) 282-3671(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センター長

〔編集参与〕

木谷 日出男 国際航業株式会社技術センター 地盤研究室長	橋本 定雄 (元)東京都公営企業管理者下水道局長
今田 徹 東京都立大学名誉教授	濱 建介 株式会社ANET取締役
高橋 良文 東京都下水道サービス株式会社管路部長	三浦 克 株式会社竹中土木常務執行役員

〔委員〕

葛城 真治 東京電力株式会社電力流通本部工務部 地中送電グループ課長	城間 博通 株式会社高速道路総合技術研究所 道路研究部トンネル研究担当部長
亀山 勝 東京地下鉄株式会社鉄道本部改良建設部 計画担当課長	新谷 康之 東京都下水道局建設部設計調整課長
坂口 淳一 東京都交通局建設工務部計画改良課長	藤村 和彦 東京都水道局建設部工務課長
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	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
清水 満 JR東日本研究開発センター フロンティアサービス研究所次長	焼田 真司 公益財団法人鉄道総合技術研究所 構造物技術研究部トンネル研究室主任研究員

要求性能を満たす 覆工コンクリートの品質向上技術

天端引抜バイブレータ装置

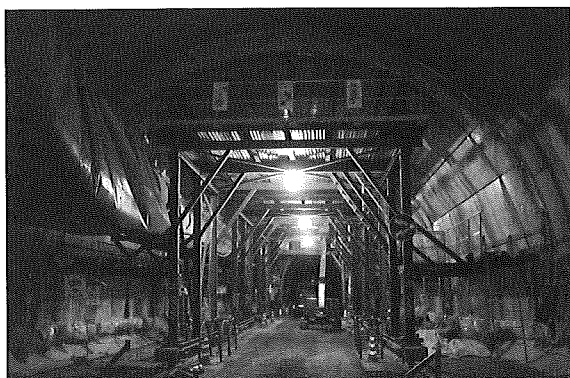
NETIS 登録 No.HR-080001-A



人力での締め作業が充分とはいえなかった覆工天端部に、油圧式天端バイブレータを採用して締めめと密充填を行います。打設中のコンクリート内に棒状バイブレータを妻側から挿入し、油圧装置を用いて押し・引き動作を与えて使用します。天端部断面方向に2～4箇所設置することにより、天端部の締めめが容易に行え、合わせてブリージング水を排水し、覆工表面の縞模様を防止します。

コンクリート湿潤養生システム

NETIS 登録 No.HR-080002-A



打設直後のセントルとセントル連結式養生台車で脱型直後の覆工コンクリートを連続してシートで覆い坑内通気を遮断、保温・加湿養生を行うことで覆工コンクリートの初期強度を向上させるとともに、乾燥収縮によるクラックを防止します。更にこの後方に養生台車を2台連結することにより、コンクリート打設後7日間の連続養生が可能となります。

北陸鋼産株式会社

(旧社名 株式会社 佐賀)

URL <http://www.hokuriku-kenko.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 東北工場：TEL0223(32)2420 FAX0223(32)2423

東京営業所：TEL03(3851)1016 FAX03(6908)6789

掲載頁
7

坑口部の地すべり対策に三次元解析を適用し無事突破

—国道168号十津川道路 今戸トンネル—

国土交通省 辻脇 崇

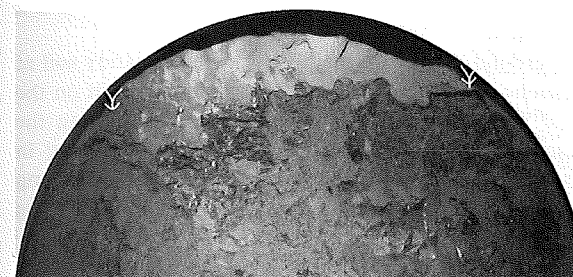
通常は、地すべり対策においては、二次元安定解析により対策工などの検討を行うが、地形、トンネル線形から、過大設計となる可能性があることから、地すべり状況を立体的にモデル化した疑似三次元安定解析、三次元FEM解析を行い、安全率や抑止力の算定および対策工の検討を行った。そして、二次元安定解析と比較し約3割のコスト削減につながった。本稿は、こうしたコスト削減を目的としたトンネル坑口部の地すべり対策工における三次元解析の適用について、経緯・手法について報告するものである。

Excavation with the Use of Three-dimensional Landslide Analysis on Portal—National Highway 168 Totsugawa Road Imado Tunnel—

By Takashi Tsujiwaki, Ministry of Land, Infrastructure, Transport and Tourism

Designing of countermeasures against landslides is usually carried out with two-dimensional stability analysis. However, this way of analysis would overengineer the structure affected by the topography of the site

and tunnel alignment. Pseudo-three-dimensional stability analysis and three-dimensional FEM analysis was carried out to design the countermeasures reflecting the evaluation of safety factors and prevention force. As a result, we could reduce construction cost by about 30 % compared to the one based on 2D analysis. This report gives information of developments and techniques on the application of three-dimensional analysis in the design of countermeasures against landslide on a tunnel portal.



写真は地すべり移動層内の切羽状況

掲載頁
15

雲仙眉山の山体崩壊による扇状地性堆積地帯を掘る

—国道251号島原中央道路 眉山トンネル—

国土交通省 今村 泰介

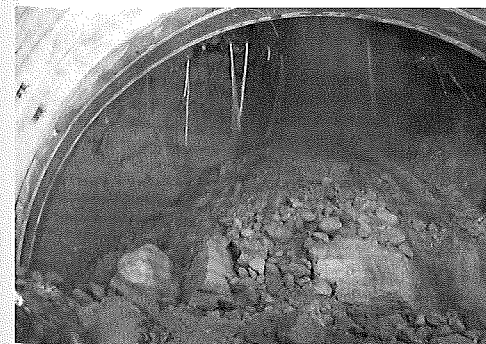
眉山トンネルは、長崎県島原市の西側に建設中の全長約905mのトンネルである。当トンネルは、岩屑堆積物などで構成される未固結地山に計画されており、工事着手前に構造の検討や地下水への影響など学識者を踏まえてさまざまな検討を行い、試験施工などをへて工事に着手することとなった。支保構造の決定にあたっては、補助工法の組み合わせのほか、コスト削減の観点からDIパターンの適用についてFEM解析で検証した。また、補助工法においても、長尺先受け工やレッグパイルといった組み合わせで施工し、長尺先受け工については、施工途中で注入材の注入圧が上昇しないなどの現象が発生したが、そのつど学識者との検討を踏まえ臨機に対応したため、順調に工事の進捗を図ることができた。

Excavation in Alluvial Fan Sediment Derived from Sector Collapse of Unzen Mayuyama—National Highway 251 Shimabara Chuo Expressway Mayuyama Tunnel—

By Taisuke Imamura, Ministry of Land, Infrastructure, Transport and Tourism

Mayuyama Tunnel is approximately 905m in length and is currently under construction on the west of Shimabara City in Nagasaki Prefecture. This tunnel is planned in unconsolidated ground consisting of debris deposit and others. The investigations from various angles based on advisers' opinion about the structures and the effects on groundwater were carried out before the commencement of works and it was decided that construction would be commenced after trial construction.

When tunnel support system was designed, the installation of DI patterns and combination of supports was evaluated by FEM analysis from the viewpoint of cost reduction. At the times problems was emerged during installing the forepolings such as the grouting pressure not increasing, the optimal countermeasures were found based on investigation by advisers and the works had progressed smoothly.



写真は剝落状況

軟弱層開削工事における土留め管理
—東京メトロ日比谷線 入谷駅出入口新設工事—

東京地下鉄(株) 若澤 利幸

本工事では、東京地下鉄日比谷線入谷駅において、火災対策設備整備における2方向避難通路、バリアフリー設備整備、列車風対策設備ならびに当社職場環境整備などさまざまな事業目的を含んだ工事を実施した。

当該工事箇所の地盤は、有楽町層を中心とした砂質土層、軟弱シルト層および埋土層を開削工法で行うことから土留め壁の変位や盤ぶくれ対策をあらゆる角度から検証しながら道路管理者や関係各機関との調整を行い、苦慮した施工実績を報告するものである。

Retaining Wall Control in Soft Ground Excavation Works—Iriya Station New Entrance Project, Tokyo Metro Hibiya Line—

By Toshiyuki Wakazawa, Tokyo Metro Co., Ltd.



写真は掘削状況

The new entrance project at Iriya Station on the Tokyo Metro Hibiya Line was composed of various works such as the installation of second evacuation route for measures against fire, the barrier-free facilities, countermeasures against the train draft, improvement of working environment.

The ground of the site mainly consisted of sandy soil of Yurakucho Formation. The new entrance was built on the ground with cut-and-cover method. After evaluating the displacement of retaining walls and ground heaving in diverse ways, we have controlled the behavior of retaining wall with observational construction. This report gives information on the construction results of this project.

水圧管路用の長大斜坑をTBMで掘削
—九州電力 小丸川発電所—

九州電力(株) 長崎 義美

九州電力(株)小丸川発電所は、宮崎県中央部を流れる小丸川支流に築造した上部調整池と小丸川本流に築造した下部調整池間の有効落差646mを利用し、最大出力120万kW(単機出力30万kW×4台)の発電を行う純揚水式発電所である。

上部調整池と発電所を結ぶ水圧管路のうち上部斜坑は、延長888.7m、径6.1m、勾配48度の長大かつ急勾配の斜坑である。導坑掘削用TBMにより径2.7mの導坑を掘削し、その後、拡幅掘削用TBMにより径6.1mまで拡幅する工法を用いた。施工にあたっては、TBMの滑落防止設備としてTBMで切削可能なインバートライナの開発、弱層部対策などを実施した。

本稿は、小丸川発電所における2本の水圧管路上部斜坑の施工について報告するものである。

Building Long Incline for Penstock with TBM—Kyushu Electric Power Omarugawa Power Station—

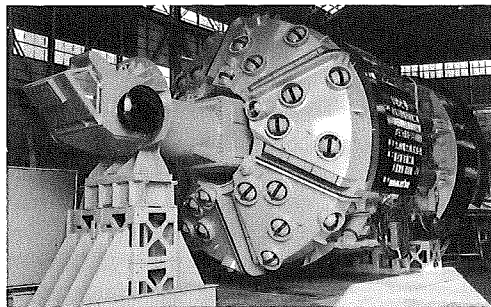
By Yoshimi Nagasaki, Kyushu Electric Power Co., Inc.

The Kyushu Electric Power Co., Inc. Omarugawa Power Station is a pumped storage hydroelectric plant which harnesses the 646 m net head between an upper reservoir constructed on a tributary of the Omaru Gawa and a lower reservoir constructed on the main river of the Omaru Gawa in the Centre of Miyazaki Prefecture.

It can generate a maximum output of 1,200,000 kW (300,000 kW per generator×4).

The upper reservoir and the power station are connected with penstock, the upper side of it is very long and steep, 888.7 m in length, 6.1 m in diameter with a gradient of 48 degrees. First, a heading tunnel of 2.7 m in diameter was drilled with TBM and after that it was reamed to a diameter of 6.1m with “reamer TBM”. The borable invert lining segments were developed and weak section of ground was reinforced to drive the reamer TBM smoothly.

This report gives information on the boring of two inclined shafts at the Omarugawa Power Station.



写真はリーミングTBM全景

覆工の初期ひび割れの発生メカニズムとその抑制対策

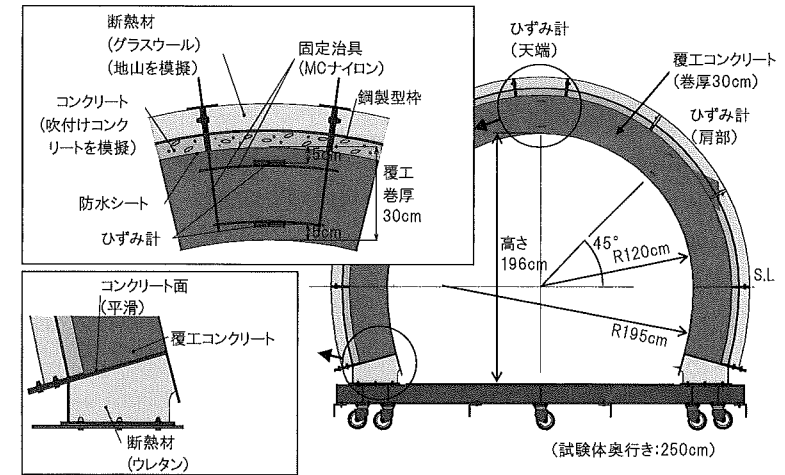
(元)鉄道・運輸機構 高山 博文

山岳トンネルの覆工コンクリートに発生するひび割れに関して、発生メカニズムを明らかにするために新幹線断面の1/4スケールの模型試験と整備新幹線の実トンネルにおける現地計測を実施した。その結果、コンクリート断面内部の乾燥収縮の不均一性が主たる要因であることがわかった。次に、このコンクリート断面内部の乾燥収縮の不均一性を考慮した解析手法を導入して、模型試験結果を再現できることを確認し、現地計測への適用性について検証を行った。さらに、坑内湿度と坑内温度によるひび割れ抑制対策を提案する。

Mechanisms of Early-Age Cracks Generation on NATM Concrete Lining and Its Control Measures

By Hirofumi Takayama, formerly of the Japan Railway, Construction, Transport and Technology Agency

In order to clarify the mechanism of cracking on the lining concrete in mountain tunnels, 1/4 scale model tests of Shinkansen tunnel and onsite measurements were carried out. Results showed that the main factor was non-uniformity of drying shrinkage along section of concrete member. Next, it was confirmed that the results of the model tests could be reproduced with an analysis based on non-uniformity of the shrinkage and verification of the applicability to onsite measurements was carried out. Furthermore, control measures for cracks generation due to humidity and temperature inside tunnel were also proposed.



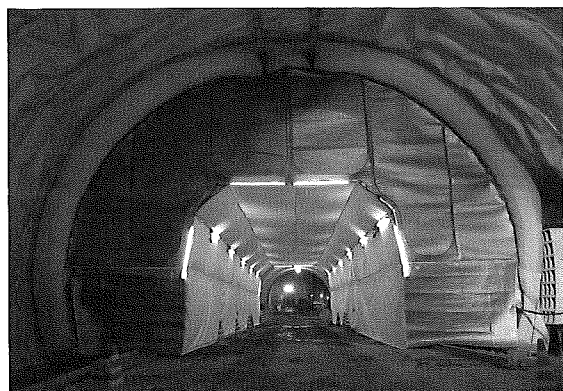
図は試験体概要図

トンネルバルーン覆工コンクリート トータル養生工法

長期耐久性に優れた高品質な

NETIS登録
(No.HR-040005)

覆工コンクリート施工を実現します！



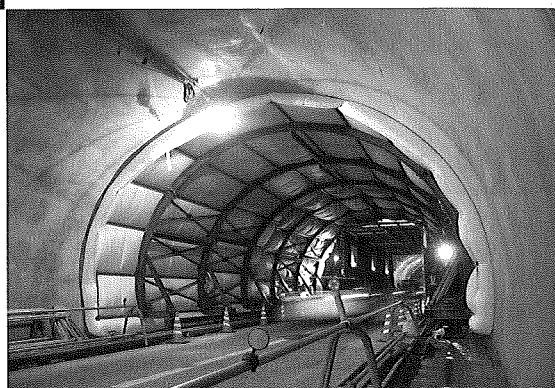
特許出願中

覆工養生バルーン

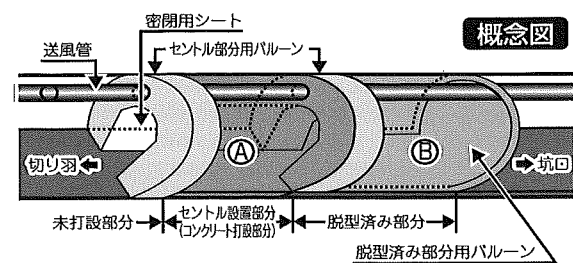
脱型後の覆工コンクリートを覆います。

【特徴】

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



特許3811478号



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

2005年『日経BP技術賞 建設部門』受賞

セントル温度養生バルーン

打設後から脱型までセントルをバルーンで覆い温度養生をします。

【特徴】

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



トンネルの建設から管理まで

—安全・安心をお届けできる技術の創出へ—

西日本高速道路(株)取締役常務執行役員(本協会理事)

大津健次

3月11日東北から関東にかけて襲った巨大地震と大津波、その後の原発事故で被災された方々にお見舞い申し上げます。今回の災害のあまりの大きさにただただ圧倒されるのみです。現在(4月上旬)、関係者の日夜を問わない懸命の作業が行われています。早期に状況が改善され、復興が進むことを祈念しています。今回の震災において、高速道路の被害は地震の規模の大きさに比べ比較的小さく抑えられたのではないかと思います。とはいえ被害を受け、その中で緊急輸送路として、被災後早い時期から人、物資の輸送に貢献できたということは、高速道路の社会的使命を果たすという点で意義深かったのではないのでしょうか。

さて西日本高速道路株式会社ですが、5年前日本道路公団の民営化に合わせ3会社に分割され福井県、滋賀県の一部を含み西日本24府県を範囲とし発足しました。現在の高速道路の管理区間の延長は、約3,339km、建設区間の延長は約153.4kmとなっています。また、利用いただいておりますお客様の数は一日あたり約242万台(平成21年年間平均)となっています。多くの方々に利用いただく高速道路ですが、供用から25年以上経過する路線の延長も長く、老朽化対策が喫緊の課題となっています。地形的には山間地域を通過する路線も多く橋梁、トンネルといった構造物の対策が安全・安心の確保のために重要となっています。交通運用で分けると4車線以上の車線数の区間が2,495km(75%)、2車線の区間が844km(25%)となっています。それぞれの区間のトンネル延長は302kmと132kmで、延長比率では12%と16%となり2車線区間が高くなっています。対面交通のトンネル延長は東日本や中日本に比べて長くまた交通量の多い路線もあり交通運用や点検管理において安全・安心に気を使うところとなっています。このためトンネル延長が長く渋滞の回数が多い阪和道の海南から有田の区間の4車線化の工事を進め、この5月21日に完成しました。そのほかにも高松道などはトンネル部での渋滞もあり4車線化に取り組むべき路線であると考えています。

一方、老朽化の点から言えば、西日本高速道路で管理するトンネルでもっとも古い関門トンネル(昭和33年開通)を平成20年から3か年間、年間のうち4か月弱通行止めを实



岐阜工業株式会社
GIFU KOGYO CO., LTD.

本社・工場 岐阜県本巣市十四条144番地
Tel. 058(323)2000(代) Fax 058(323)1176
東京支店 Tel. 03(5836)0531 Fax 03(5836)0532
仙台営業所 Tel. 022(259)2239 Fax 022(259)3664
九州営業所 Tel. 092(713)5265 Fax 092(714)3028
URL <http://www.gifukogyo.co.jp/>

TOUKOU 株式会社 東 宏

本社 北海道札幌市東区北20条東5丁目1番7号
Tel. 011(742)3331 Fax 011(742)3333
東京支店 Tel. 03(3683)8011 Fax 03(3683)8028
道東営業所 Tel. 0155(34)6311 Fax 0155(34)8494

URL <http://www.k-toukou.jp/>

施工車道の床版の取り換え工事を行いこれからも多くの方々に安心してご利用いただけるトンネルに再生しました。こうしたトピック的な取り組みのほかに、トンネルの老朽化の問題点として覆工コンクリートの剝落があります。とくに多くみられるのが覆工コンクリートの端部における小片コンクリートの剝離・剝落です。このためトンネルという作業環境として厳しい閉塞空間の中で、交通規制を伴わず、高速で撮影可能な車載式ハイビジョンカメラの開発と点検の自動化を進めるとともに、点検結果や補修された履歴を有効に活用するためのTMS(トンネル・マネジメント・システム)の構築を進めています。

新規の建設区間では、新名神、東九州道、京都縦貫など高速道路のネットワークに向けて計画的かつ効率的に事業を進めています。こうした建設区間のトンネルでは新東名や新名神でこれまで培ってきた高規格・高強度支保材料を用いた支保工技術を積極的に取り入れ、省力化・コストダウンを図るとともに切羽前方探査や情報化施工で掘削の安全性を向上させ、坑内環境改善が図れる吹付けコンクリート材料の導入など労働環境へ配慮した施工を目指しています。また、高品質な覆工コンクリートにするため中流動コンクリートの施工に取り組むなど、LCCを考慮し長期耐久性を確保したトンネルを建設していくことにしています。

個人的な話で恐縮ですが新東名のトンネルに事業開始からかかわりました。ルートの発表から地元協議、用地の交渉へと進む段階で、先行的に技術開発を進めるということになりました。新東名のような大断面のトンネルは、切羽が大きくなり安定しにくくなるということや地質条件の悪い山が予想され土かぶりが大きく地質調査が行き届かない長いトンネルでは掘削に対し何らかの対策が必要ということから、「TBM導坑先進拡幅掘削工法」を試験的に採用することになり工事に着手しました。しかし、この施工にあたり発注者として地域の関係される方々と交渉を重ねたのですが、一部坑口付近の関係者との交渉が難航し、結果的には坑口を避け側方から借地してTBMを発進した思い出があります。私がかかわったトンネルの新しい技術がその後いろいろと生かされていることでその当時の苦労は報われたような気がしています。

西日本高速道路では、今後建設事業から保安全管理業務へ比重が移っていきます。建設とはまた違った新しい技術が求められます。建設から維持管理までを一貫して対応できる人材、技術力、組織体制を築き技術の研鑽を図ります。そしてその能力を多くの地域の方々のために役に立てることができ地域とともに発展できればと願っています。

施工

坑口部の地すべり対策に三次元解析を適用し無事突破

—国道168号十津川道路 今戸トンネル—

国土交通省近畿地方整備局奈良国道事務所工務課課長 辻 脇 崇
 日本工営(株)大阪支店技術第二部国土保全グループ課長 徳 永 博
 日本工営(株)大阪支店奈良営業所主任 古 山 貴 久
 飛島建設(株)中日本土木支社折立防災作業所工事課長 高 橋 岳 大

1 はじめに

国道168号十津川道路は、地域高規格道路「五條新宮道路」の一部をなし、奈良県南部の和歌山県境付近に位置する総延長6.0kmの国土交通省権限代行事業の道路である。当該道路を含め、五條市以南の国道168号は急峻な地形条件のため、未改良区間(線形不良、幅員狭小)が多く、大部分が異常気象時通行規制区間となっており、地形条件が厳しく、整備に高度な技術を要する区間である。

今戸トンネルは、十津川道路の2工区内の延長2.3km、内空断面積56.3m²のNATMによる山岳トンネルであり、平成22年8月25日に無事貫通した。

今戸トンネルの詳細設計にあたって、ボーリング調査から起点側坑口の斜面

表-1 十津川道路計画諸元

路線名(箇所名)	一般国道168号(十津川道路)
延 長	6.0km
規 格	第3種第2級
車 線 数	2車線
設 計 速 度	60km/h
場 所	吉野郡十津川村大字平谷～小原

に地すべりが分布することが判明したが、現地状況より坑口部の位置変更ができないため、坑口部に対する地すべり対策工を行い、掘削時には、安全確保のためモニタリング調査を行いながらトンネル施工を行った。

本稿では、事例の少ないトンネル坑口における地すべり対策工について、コスト削減を目的として地形・地質状況、トンネル形状を解析に反映させるために行った「疑似三次元安定解析」および「三次元FEM解析」、さらにトンネル施工時に安全確保のため行ったモニタリング調査について報告するものである。

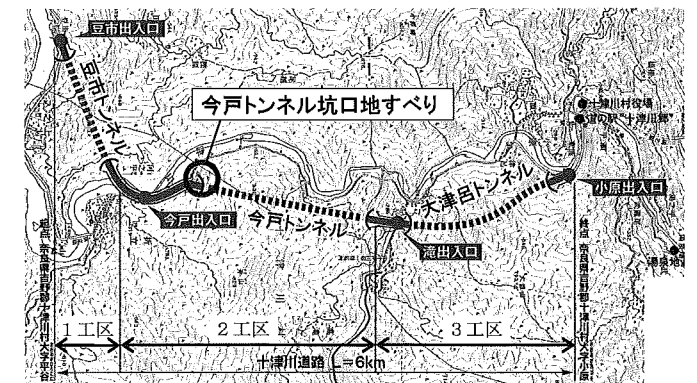


図-1 十津川道路位置図

2 地形・地質状況と工事概要

本地域は、東に大峰山脈、南西に果無山脈、北西に護摩壇山を含む山塊群で囲まれた標高700~800m級の高山が連なる山岳地帯である。

起点側坑口部は、山間を流れる十津川(新宮川)左岸の国道168号の山側斜面に位置する。坑口部付近の斜面は勾配40°前後の急斜面である。トンネル坑口の形態としては斜面斜交型となる。また、坑口部には、片理の発達が顕著で剝離性が著しい黒色頁岩と全体的に堅硬で連続性のある急崖を形成するが、割れ目が発達し、ブロックから礫状になりやすい緑色岩が分布する。また、被覆層として第四紀の未固結堆積物である崩積土が分布している。

本トンネルはトンネル一般部を標準支保パターンとし、坑口部もインバートを設置する標準支保パターンである。また、支持地盤の地耐力が十分期待できるため、上半断面掘削工法を適用した。覆工およびインバートは単鉄筋で補強した構造を採用した。

3 地すべりの調査結果と概要

起点側坑口周辺の斜面は、地すべりの可能性が懸念されたため、ボーリング調査や地すべり計器観測を行い、有識者委員会(国道168号防災検討会)に諮りつつ検討を行った。

当該地区においては、地質状況を詳細に把握するため、高品質コア採取を目的にハイブリッドボーリング調査を12本実施し、また、各調査坑でパイプ歪み計観測と地下水観測を行った。

調査結果から、当該地区は、劣化した岩盤と良好な岩盤がそれぞれ2層存在し、交互に分布していることが判明した。深度20~25mには破碎層が、深度10~15mには劣化岩盤が存在する。この破碎層と劣化岩盤の間には良好な岩盤が分布し、また、

表-2 今戸トンネル諸元

延 長	2.3km
断 面	内空断面積56.3m ²
掘 削 方 法	上半断面掘削によるNATM
地すべりモニタリング	地下水位計・パイプ歪み計・孔内傾斜計・地盤伸縮計

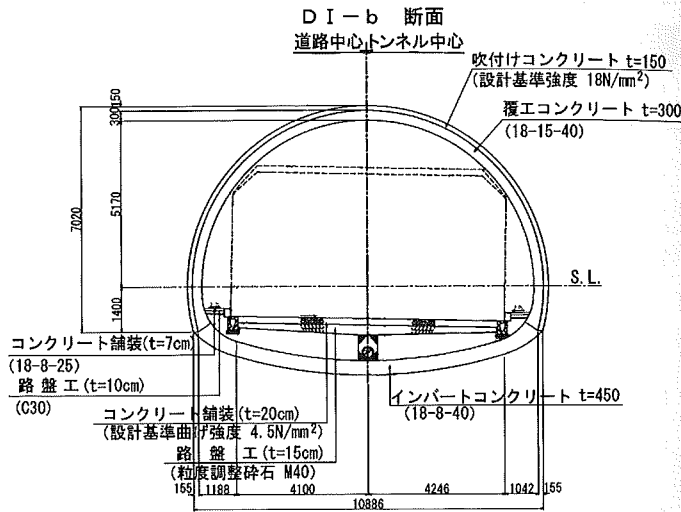


図-2 今戸トンネル坑口部の標準断面図

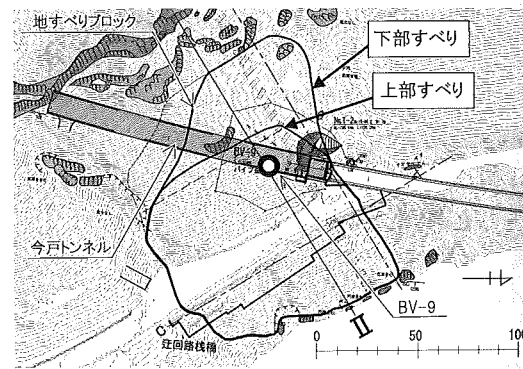


図-3 坑口地すべり調査平面図

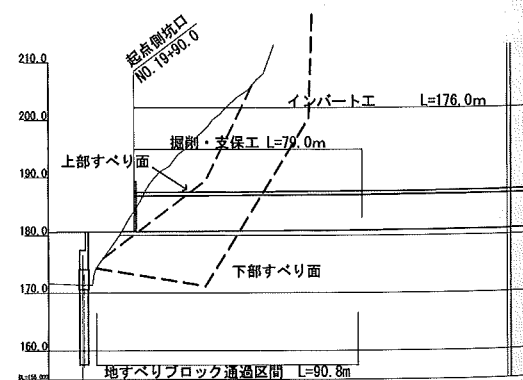


図-4 今戸トンネル起点側坑口縦断面図

(岩盤区分)

- D級 硬質土砂状、粘土状コア
- CL級 D級及びCL級が混在する(繰り返し)岩盤
- OL級 OL級或いはOL級とOM級が混在(繰り返し)岩盤
- OM級 OM級を主体とする岩盤
- CH級 CH級を主体とする岩盤

- D級 : 硬質土砂状、粘土状コア
- CL級 : 亀裂が発達する岩片状~礫状コア、或いは割れ目多い岩質
- OM級 : 硬質な短柱状コア
- CH級 : 新鮮で硬質な柱(棒)状コア

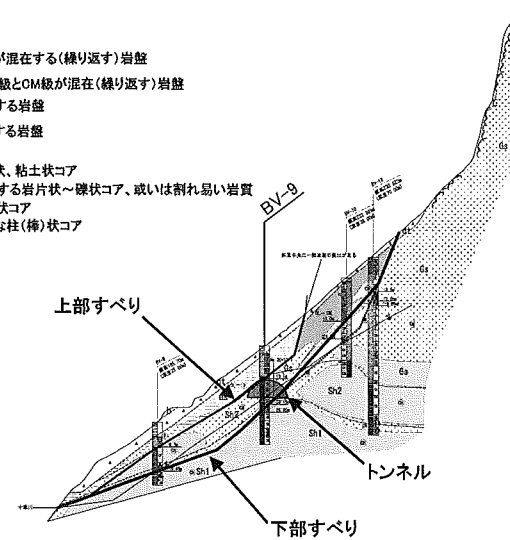


図-5 坑口地すべり調査断面図

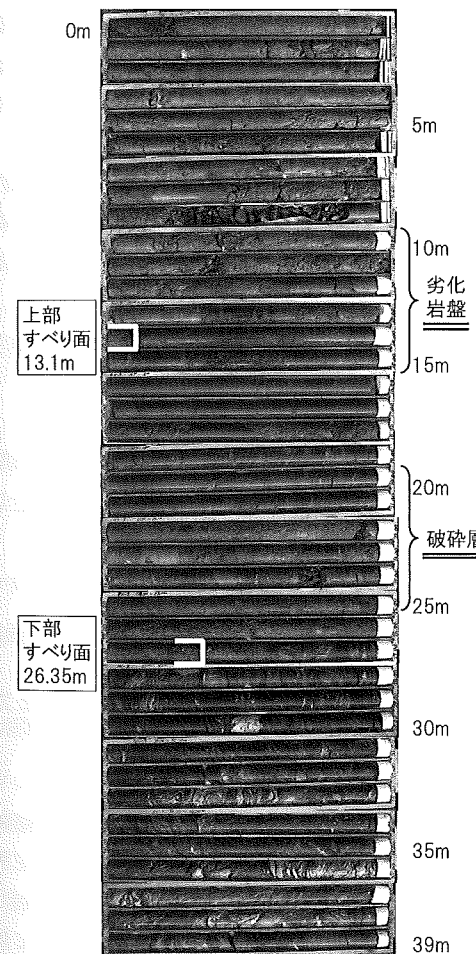


図-6 BV-9 コア写真(ハイブリッドボーリング)

破碎層下部にも堅硬な岩盤が存在している。

上記の地質状況を考慮し、当該地区には、深度13mに分布する劣化岩盤層をすべり面とする上部すべり(崩積土すべり)と、深度26mに分布する破碎層をすべり面とする下部すべり(岩盤すべり)の2つのブロックの存在が推定された。

このような地質状況は、国道168号や169号で過去に発生した大規模な地すべり(岩盤すべり)発生箇所の状況と類似しており、当該すべり面をトンネルで掘削することにより、すべり面強度が低減し地すべりが不安定化する可能性があり、トンネル施工にさいして大きな課題となった。

なお、トンネル施工に際しては施工性などを考慮し坑口部を外した作業横坑を事前に施工しており、地すべり部は、トンネル内側から掘進した。

4 三次元解析を用いた地すべり対策の検討

4-1 解析モデルの選定

こうした地すべり状況を踏まえ、検討にあたっては、通常の二次元安定解析だけでなく、地形・トンネル形状および掘削の影響を考慮した抑止力の算定、ならびに地すべり挙動解析を行うため、簡易立体的に反映できる「疑似三次元安定解析」と「三次元FEM解析」を行った。なお、三次元解析を行う理由は、次のとおりである。

地すべりブロック

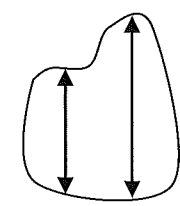


図-7 地すべりブロックの形状

地すべりブロック

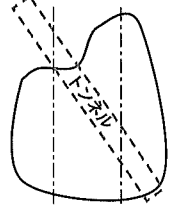


図-8 地すべりブロックとトンネル線形の位置関係

- ① 地すべりブロックは、主測線の奥行きは長い^{いびつ}が側方部では極端に奥行きが短く、歪で扁平な形状を呈しているため、二次元安定解析を行う場合、地すべり幅全体において(奥行き^{いびつ}の長い)主測線の必要抑止力を受け持たせる設計となり、過大設計となる可能性が高いこと。
- ② 地すべりブロックに対し、トンネル線形が斜行しており、地すべり安定度に対するトンネル掘削の影響度合いが測線ごとに異なること。

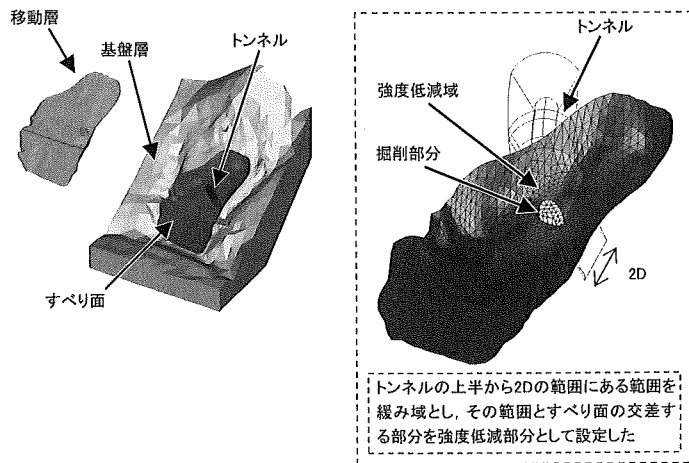


図-9 FEM解析モデル図

表-3 物性値一覧

地層区分	項目	設定値	備考
移動層	変形係数E [kN/m ²]	120,000	孔内水平載荷試験の結果より設定
	単位体積重量γ _v [kN/m ³]	21.0	現場周辺での実績値
	ポアソン比ν	0.35	事例などを参考に設定
	粘着力C [kN/m ²]	1,000	弾性挙動を示す強度を設定
	内部摩擦角φ [°]	45	弾性挙動を示す強度を設定
基盤	変形係数E [kN/m ²]	2,440,000	孔内水平載荷試験の結果より設定
	単位体積重量γ _v [kN/m ³]	23.0	現場周辺での実績値
	ポアソン比ν	0.30	事例などを参考に設定
	粘着力C [kN/m ²]	1,000	弾性挙動を示す強度を設定
すべり面 (現況→低減)	粘着力C' [kN/m ²]	25.0→12.5	『設計要領第1集』(日本道路公団)より
	内部摩擦角φ' [°]	25.0→20.7	『設計要領第1集』(日本道路公団)より

以上のように、通常の二次元安定解析では、適切に算定することが困難であると判断され、先進事例調査を行いながら疑似三次元安定解析および三次元FEM解析を実施した。

なお、検討にあたって、下部すべりの対策工により、必然的に上部すべりは抑止されるため、下部すべりについて、安定解析を実施している。

4-2 解析における条件設定

三次元解析モデルは、前述の地すべり状況を反映させ、地すべりブロックを移動層、基盤層、すべり面の3層に分け、トンネルはそれらを斜めから貫通するモデルを設定した。地盤物性値は現地で実施された孔内載荷試験値や一般値を参考にして設定した。また安全率の算定の際、トンネル掘削のすべり面の影響範囲およびすべり面強度低減域を旧日本道路公団の設計方法に準じて設定し、以下のようにすべり面の強度を低減させた。

- ① トンネルの上半から2Dの範囲にある範囲を緩み域とし、その範囲とすべり面の交差する部分を強度低減部分として設定した。
- ② 強度低減域のすべり面の粘着力c'は、以下の式より設定した。
 $c' = c \times \beta_c (\beta_c = 0.5)$
- ③ 強度低減域のすべり面の内部摩擦角φ'は、以下の式より設定した。

$$\phi' = \tan^{-1} \{ \tan \phi - \tan((1.0 - \beta_\phi) \phi) \}$$

(β_φ = 0.8)

4-3 安全率の算定・必要抑止力の算出

疑似三次元安定解析は、主測線に平行な数本の測線を用いて二次元安定解析を行い、測線ごとの地すべり安定解析結果を、測線に対応する土塊の幅もしくは面積に相当する係数によって加重平均して安全率を求める方法である。

表-4 必要抑止力算出結果の比較

計算手法	算出された必要抑止力	二次元安定解析との比	備考
二次元安定解析	4,130.2kN/m	100%	II測線を主測線とする
疑似三次元安定解析	3,035.8kN/m	73.5%	I~IV測線を用いる
三次元FEM解析	2,944.0kN/m	71.3%	◎採用

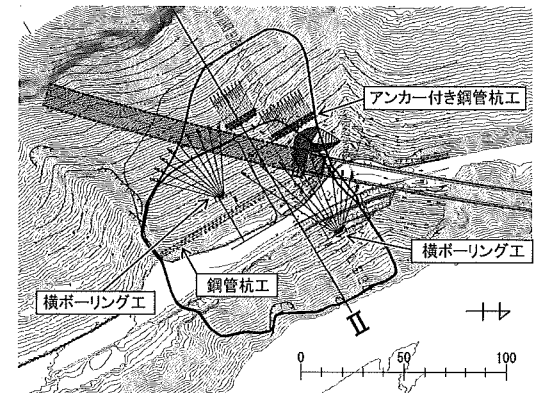


図-12 今戸地区対策工平面図

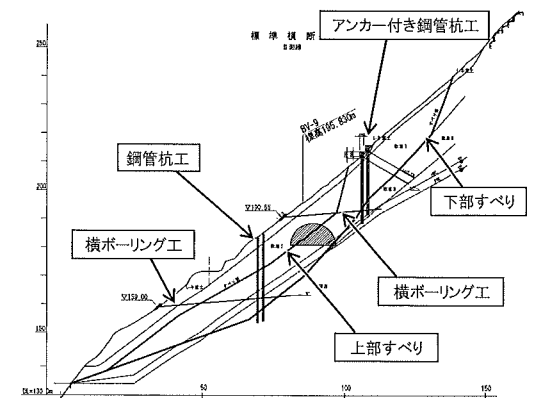


図-13 今戸地区対策工標準断面図

り、すべり面強度の不確実性に対して安全率を見込む必要があるため、せん断強度低減有限要素法(SSRFEM)を用いた。

本手法は、逆算法から設定したすべり面強度(C, φ)を低減係数(F_s)で割って段階的に低減させ、地盤が塑性領域から破壊に至る時点の低減係数をもって安全率とするものである。せん断強度低減法を用いたFEM解析の計算フローを図-10に示す。

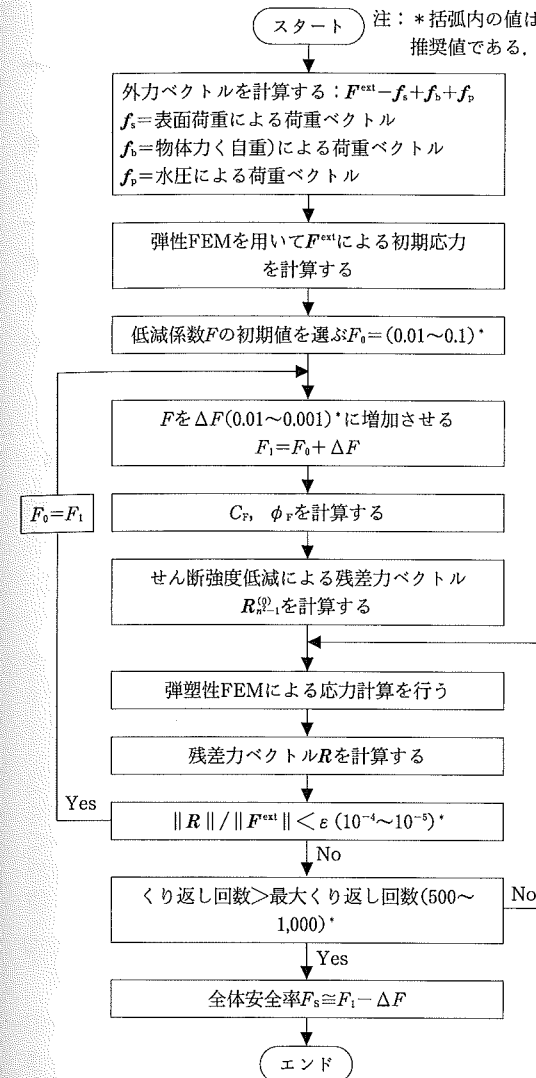


図-10 せん断強度低減有限要素法の計算フロー

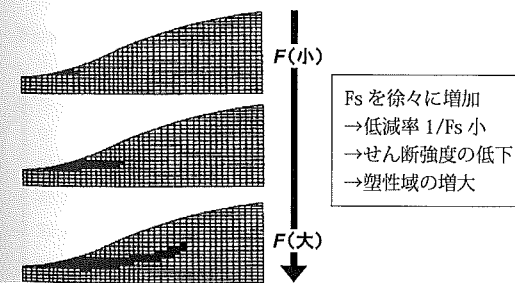


図-11 有限要素分割と塑性域(黒色部)の進展

疑似三次元安定解析により、必要抑止力P_r = 3,035.8kN/mとの結果を得た。

次に、三次元FEM解析を行った。解析にあ

具体的には、まず最初の低減係数 F を小さな値に設定すると C_1 および ϕ_c が十分大きくなるので、斜面はいたるところで弾性応力状態となる。次に F を ΔF ずつ段階的に増加させていくと、ある F 値をとるとき、図-11に示すように斜面内のあるところで地盤が破壊する。

こうして F を徐々に増加させていくと、ある F_s のときに、地盤内の塑性域が斜面上部から末端までつながる。このとき斜面の変形は非常に大きくなっており、斜面崩壊に至ったと判断され、その時点の F を安全率 F_s とする。

三次元FEM解析結果からトンネル掘削により、下部すべりの安全率 F_s は1.0を下回り、計画安全率 $F_{sp}=1.20$ に要する必要抑止力は2,944kN/mとなった。

三次元FEM解析で得られた必要抑止力は、過大と判断した二次元安定計算での必要抑止力に対して7割程度となった。擬似三次元安定解析結果でも、三次元FEM解析結果はほぼ同等の結果となり、三次元解析はおおむね実情を反映した結果であると考えられることから、必要抑止力は三次元FEM解析の結果を採用した。

4-4 地すべり対策工

FEM解析で算定した必要抑止力を採用し、比較検討しながら、鋼管杭工、アンカー付き鋼管杭工の詳細設計を実施した。

三次元FEM解析を採用した結果、工事費は約8億円と、二次元安定解析結果を用いた当初概算工事費11億円に対し、約30%縮減することができた。

5 トンネル掘削時の地すべり挙動解析

トンネル掘削中に生じる地山の変位分布や地すべり抑止工の挙動について、三次元FEMにより確認を行った。その結果、基盤掘削時に生じる変位量は、トンネル掘削が地すべりブロックに近づくにつれて変位量は大きくなるが、最大30mm程度と僅かであり、鋼管杭工により十分安全であることが確認できた。

6 トンネル施工

6-1 工事中の地すべりモニタリング

トンネル工事中は、表-5に示す計器を用いて地すべりのモニタリングを行い、安全管理を行った。モニタリングの結果、パイプ歪み計(変動量5~20 μ /月)、孔内傾斜計(変動量0.1~0.3mm/月)のすべての計画に、トンネル掘削中に生じた地すべり変動はほぼ認められず、解析結果とも整合していた。

表-5 工事中モニタリング計器一覧

種別	計器番号	数量
パイプ歪み計	BV-1~3, 6~10, 12~14	11孔
パイプ歪み計(鋼管杭内)	BV-15~18	4孔
孔内傾斜計	No.2,3	2孔
地盤伸縮計	No.5~9	5基

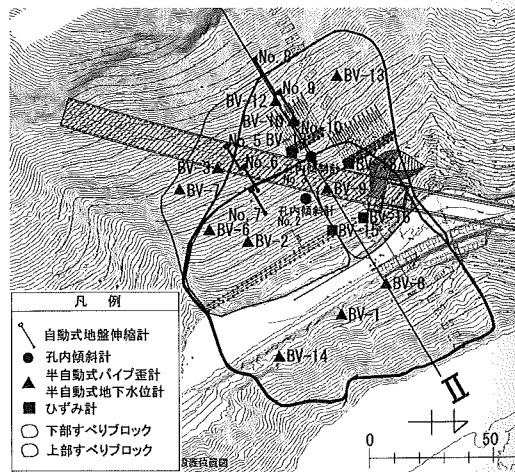


図-14 工事中モニタリング計器位置図

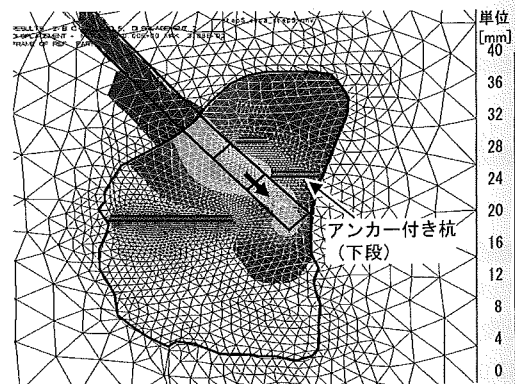


図-15 トンネル掘削に伴う地表面変位の分布

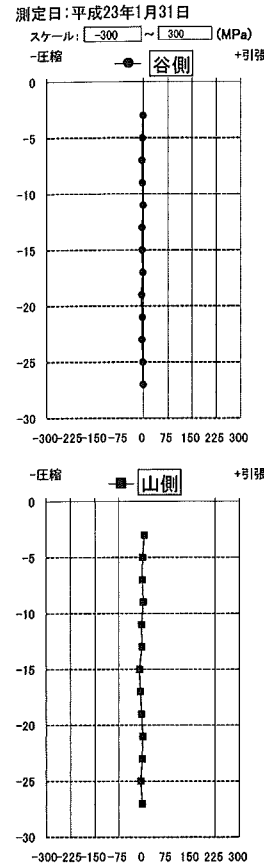


図-16 鋼管杭孔内パイプ歪み計変動図

6-2 トンネル施工状況

今戸トンネル施工にあたっては、坑口地すべり対策工事を事前に行ったうえで、トンネル内側からトンネル本体掘削を施工した。

地すべり移動層内の切羽状況は、写真-1に示すとおり強風化した頁岩であり、切羽面は掘進時に肌落ちや表層崩壊が発生するなど、非常に脆弱な状況であった。このため、補助工法(AGF工法)を併用しながら、掘削、支保工、インバート工を施工した。トンネル内空変位観測の結果、掘削当初は天端の沈下が約14mmとやや認められたが、支保工施工後は変位は沈静化傾向となり、安全に施工を進めることができた。また地すべり観測の結果、上部すべり、

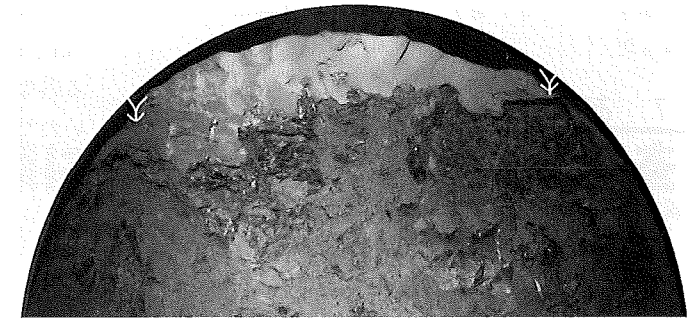


写真-1 地すべり移動層内の切羽状況

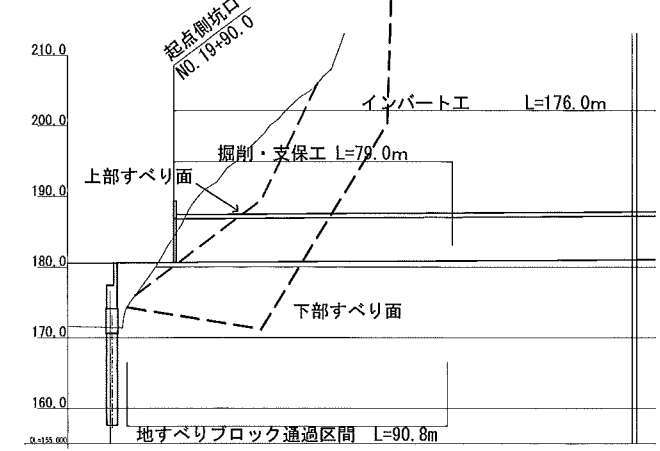
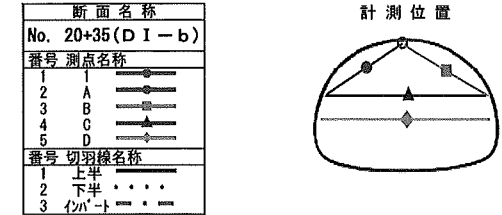
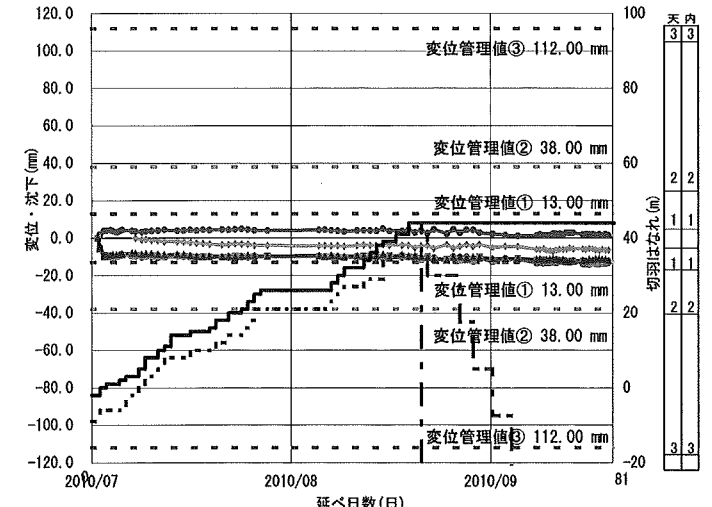


図-17 トンネル内空変位経時変化図

下部すべりともに地すべり変動はほぼ認められなかった。

7 おわりに

今戸トンネル工事は平成21年3月に着工し、平成22年8月25日に貫通、平成23年3月に完成した。

公共事業におけるコスト縮減が求められる昨今、ハイブリッドボーリングのような詳細な調査と実状に近い精緻な解析を行うことで、トンネル工事における地すべり対策工は、当初の予定より約30%のコスト縮減ができた。

解析手法として三次元FEM解析を用いたが、疑似三次元安定解析、加えてトンネル掘削時の変位とも整合しており、解析の信頼性が高いことがわかった。

ただ、今回の解析では、トンネル支保工をモデル化していないこと、トンネル掘削前の地盤の初期応力に対し地盤物性値に不確実性があること、工事のモニタリング結果では整合しているものの実状は変位がほとんど示されていないことから精度が明確でないことなど課題が明確になった。

今後は、これらの課題を解決することでさらに高度な情報化施工技術を適用できる可能性があると考えられる。

最後に、当地区地すべりは調査・解析にあたり、国道168号防災検討会の足立委員長をはじめとする各委員ならびに関係各位よりご指導、ご助言をいただきましたことに、深く謝意を表する次第である。

参考文献

- 1) 高速道路技術センター：トンネル掘削を誘因とする地すべり対策に関する基本検討報告書(日本道路公団委託)，1996.2.
- 2) 高速道路調査会：トンネル坑口周辺の地すべり・崩壊対策に関する研究報告書(日本道路公団委託)，1981.1.
- 3) 藤澤和範・江田充志・真下英人・高橋近敏・山田康晴：国道197号名取トンネルの地すべり災害速報，土木技術資料，Vol.47，No.8，pp.4-8，2005.8.
- 4) 田中忠次・鶴飼恵三・河邑眞・阪上最一・大津宏康：地盤の三次元弾塑性有限要素解析，丸善，1996.3.
- 5) 藤平大・藤澤和範・田中尚・上野雄一・倉岡千郎・河合政岐：抑止杭工とグラウンドアンカー工を併用した地すべり対策の事例分析，第46回日本地すべり学会研究発表会講演集，pp.255-258，2007.8.
- 6) 若井明彦・蔡飛：せん断強度低減法(SSRM)による全体安全率の計算，講座：地すべり解析における有限要素法の利用(第4回)，地すべり，Vol.40，No.3，pp.76-80.

施工

雲仙眉山の山体崩壊による扇状地性堆積地帯を掘る

—国道251号島原中央道路 眉山トンネル—

国土交通省九州地方整備局雲仙復興事務所建設監督官 今村 泰介
 国土交通省九州地方整備局雲仙復興事務所道路課工務係 西島 純一郎
 (株)フジタ九州支店眉山作業所長 上野 博務
 (株)フジタ九州支店眉山作業所 福田 秀樹

1 はじめに

「島原道路」は長崎県諫早市の長崎自動車道諫早ICから諫早市郊外を通過し、雲仙市愛野町、島原市を経て、南島原市に至る全長約50kmの地域高規格道路であり、島原市中心部の渋滞緩和、島原半島地域の円滑な交通の確保や地域振興の支援、および災害など緊急時の代替道路としての機能を有する道路である。

平成22年3月現在、島原市南部と南島原市市北部を結ぶ「島原深江道路」(全長約4.6km)と島原市北西部の「がまだすロード」(全長約2.2km)が既に供用しており、その間をつなぐ「島原中央道路」(全長約4.5km)を、平成24年度の暫定供用を目指し、国土交通省雲仙復興事務所が平成13年4月より鋭意事業を進めている。

当道路は、日本で最初の国立公園である「雲仙・天草国立公園」内を通過することとなっているため一部区間をトンネルとして計画しており、工事にあたっては「日本の名水百選」にも選ばれ、島原市民にとってもかけがえのない島原の湧水への配慮も必要とされた。

そのため、平成11年度より水文調査を実施する

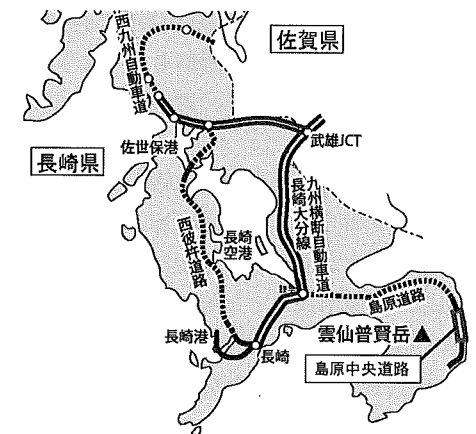


図-1 施工位置図

など、環境や水文、防災上の問題などさまざまな検討を行ったうえで、平成21年度に工事に着手することとなった。

今回はその眉山トンネル(仮称)の施工事例を通して、未固結地山でのNATMの施工方法および施工管理、環境への配慮について紹介する。

2 地質概要と地下水について

当該トンネルが計画されている区域は更新世後期の扇状地堆積物を基盤とし、上部に完新世の扇状地堆積物が覆っている状況であり、約4,000年

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 千340円

本書は、平成11年3月号より17回にわたって「トンネルと地下」に連載した「トンネル技術者のための応用地質学入門」をベースに、加筆および整理してまとめたものである。本書では、最新のトンネル技術、地質学、ならびに、地質調査法などを挙げ、学生から実務者まで広範に満足させる内容となっている。

株式会社 **土木工学社**

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

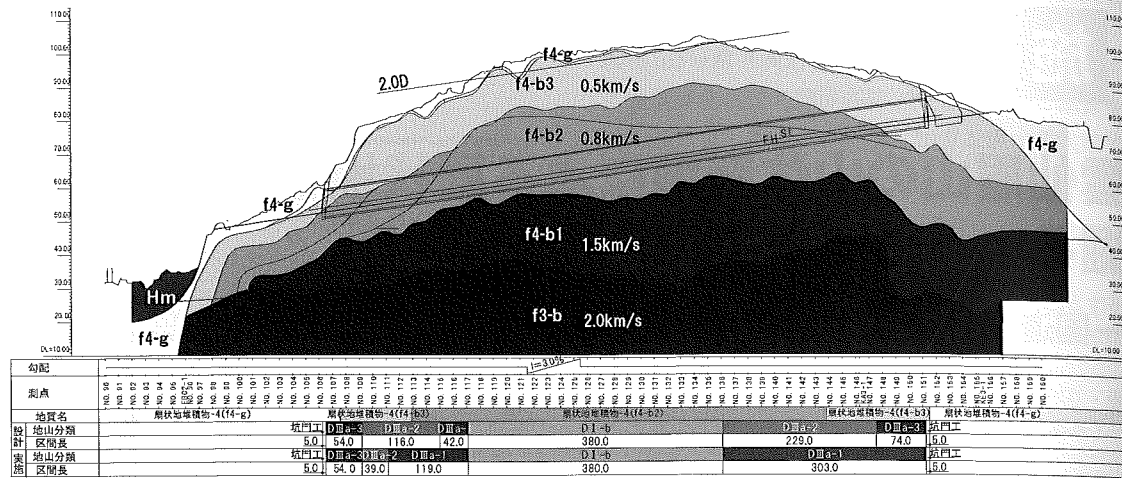


図-2 地質縦断面図

前の噴火活動により生成されたとされ、約210年前には「島原大変肥後迷惑」と呼ばれる大崩壊を引き起こした眉山(標高約800m)の火山活動により噴出した礫や砂などの扇状地堆積物(f4)と岩屑なだれにより発生した堆積物(Hm)で形成されている。これらの地質は未固結もしくは半固結状態が不均質に分布しており、透水係数が非常に高いことが特徴である。

島原市によると、島原市内に約60か所の湧水箇所が点在しており、その湧水量は22万t/日と言われており、湧水が島原市の観光資源の1つであるとともに、島原市民にとってもかけがえのない生活用水であることから、島原中央道路建設にあたっては、地下水への特段の配慮が必要とされた。これまでの地下水調査(ボーリング調査など)により、地下水はトンネル計画位置より約25~40mほど下に位置していることがわかっており、掘削時に地下水の湧出はないとされたが、施工時に有害な成分が地下水に流出しないことが求められた。



図-3 地質状況図

3 工事概要

眉山トンネルは、現在建設中である島原中央道路のほぼ中央に位置する全長約905mのトンネルで、上下線別に2本計画された海側のトンネルであり、内空断面積は約65m²で、高さ約7.5m、幅約12mである。

支保パターンは、検討の結果DIII aとD Iパターンの組み合わせで、補助工法は長尺先受け工法、

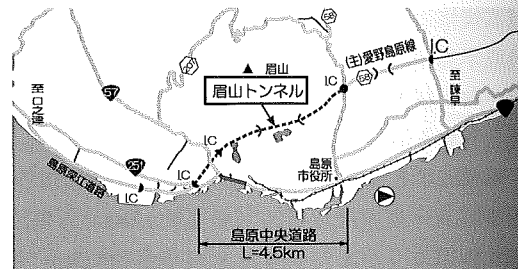


図-4 眉山トンネル位置図



写真-1 ツインヘッダ

表-1 工事概要

工事名称	長崎261号眉山トンネル新設工事
工事箇所	長崎県島原市眉山地内
発注者	国土交通省九州地方整備局
施行者	(株)フジ九州支店
工期	平成21年3月3日~平成23年3月30日
延長	905m
掘削方法	上半先進ベンチカット工法
掘削方式	機械掘削(ツインヘッダー使用)
掘削補助工法	長尺先受け工法(L=13.5m, 鋼管φ76.3) レッグパイル ウイングリブ 鏡ボルト

脚部沈下対策としてウイングリブ構造とレッグパイルの組み合わせとし、数値解析により妥当性を検証したうえで採用した。

また、掘削にあたっては「上半先進ベンチカット工法」を用い、ツインヘッダによる機械掘削とした。

工事概要を表-1に示す。

4 構造の検討と試験施工

固結度の低い土砂地山では、切羽および天端部の自立性が問題となるが、近年は都市部を中心に未固結の土砂地山におけるNATMの施工事例が一般的となりつつあり、本トンネルにおいても適切な対応が求められた。

『トンネル標準示方書・同解説』¹⁾によると、支保の検討にあたっては標準設計の適用、類似条件での設計適用および解析的手法の適用の3種に大別でき、とくに未固結地山でのNATMの場合、類似条件での設計適用や解析的手法の適用などの手法を用いたうえで、地質状況などの変化にあわせて最適な施工方法に修正していくのが一般的である。

当該トンネルにおいてもほかの事例を参考にしながら、解析的手法を用いて設計方針の妥当性を検証した。

4-1 支保構造の決定

これまでのさまざまな土質調査などにより、当該トンネルにおける条件を以下のように整理できる。

- ① 当該トンネルの周辺地山は弾性波速度が最大でも0.8km/s程度である。
- ② 土かぶり小さいため、初期地圧が小さい。
- ③ 内部摩擦角が比較的大きい砂礫である。
- ④ 地下水の湧出はない。

これらの条件を加味し、土質性状を考慮したうえでDIIパターンを適用できるとしたが、さらなるコスト削減としてDIパターンが適用できないか検討し、FEM解析によりこれら2つのパターンを比較することでDIパターン(図-5)適用の妥当性を確認した。

その結果、表-2に示すように支保工にかかる応力は許容応力値(吹付けコンクリート: 9.0N/mm², 鋼製支保工: 210N/mm²)を下まわる結果となり、

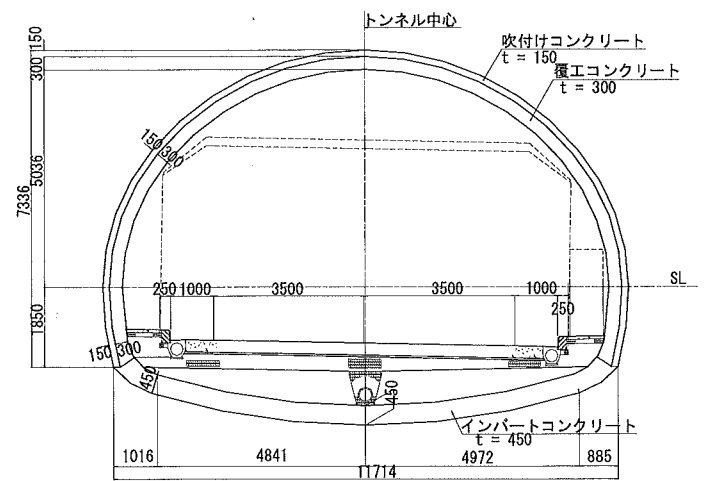


図-5 標準断面図(D I -b)

表-2 解析結果

支保パターン	土かぶり(m)	支保工応力 (吹付け+鋼製支保) (N/mm ²)		吹付けコンクリート 応力 (N/mm ²)		鋼製支保工応力 (N/mm ²)	
		最大	最小	最大	最小	最大	最小
D I	15	3.03	- 8.04	2.20	-5.82	43.97	-116.45
	30	1.35	-11.05	0.98	-8.00	19.61	-160.09
D II	15	2.68	- 6.53	1.94	-4.74	38.88	- 94.81
	30	1.06	- 9.52	0.77	-6.92	15.46	-138.33

応力極性: (+)引張, (-)圧縮

応力分布についても、支保工全体におおむね均等に応力が分布している状況が確認できた。

このように、解析により構造の妥当性を検証し、DIパターンを適用した。

4-2 補助工法の検討

補助工法の検討にあたっては切羽安定化対策と天端安定化対策の2点について検討した。

切羽の安定対策としては、鏡ボルト、鏡吹付けなどがある。当該トンネルは、土砂地山であるため、とくに土かぶり小さく強度が低いf4-b3層の低強度層についてはFEM解析を実施し、鏡ボルトおよび吹付けコンクリートにより切羽の安定化を図ることとした。

天端の安定対策は切羽の自立性が低いことから、砂礫質でも有効とされる長尺先受け工法を採用した。また、長尺先受け工および、鏡ボルト施工のさいに使用する注入材については、地下水への影響を極力少なくするため、一般的に使用されるウレタン系注入材ではなく、日常にごく普通に存在するセメントを主成分とするセメント系注入材を採用した。

4-3 試験施工の実施

本トンネルでは、工事着手にあたり、主に「長尺先受け工」で使用する注入材について、トンネル計画地山での有効性を確認するとともに、地下水水質への影響がなく、もっとも有効な注入材の選定を行うことを目的に、掘削予定地山において

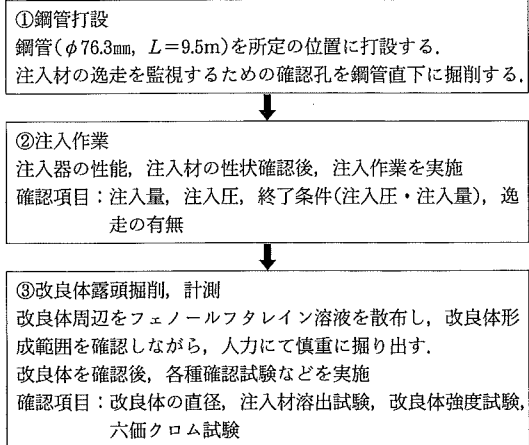


図-6 試験施工実施フロー

試験施工を実施した。試験方法を図-6に示す。

注入材の選定にあたっては、セメント系注入材を中心に5種類を選定した。掘削開始前の地山坑口部に長尺パイプ(φ76.3mm, L=9.5m)を打ち込み、内部に注入材を圧入した。注入については、注入圧が初期圧+2.5MPaに達するか、設定注入量の1.5倍に達するかどちらか早いほうで終了するよう管理し、硬化を待ったうえで人力にて改良体を掘り出した。掘り出した改良体については、フェノールフタレイン溶液を散布し(写真-2参照)、反応して変色した範囲を目安に目標となる外径(φ45cm)を有することを確認するとともに、目視による確認や改良体周辺にも溶液を散布して、注入材の逸走や拡散がないことを確認し、改良体のpH試験など地下水への影響を検証するための試験を実施した。結果を表-3に示すが、すべての材料において逸走や拡散などは見られなかったが、材料BとC以外は目標とする改良体の形成が確認できなかった。その結果を「眉山トンネル工事施工監理委員会」にはかり(写真-3)、試験結果と実

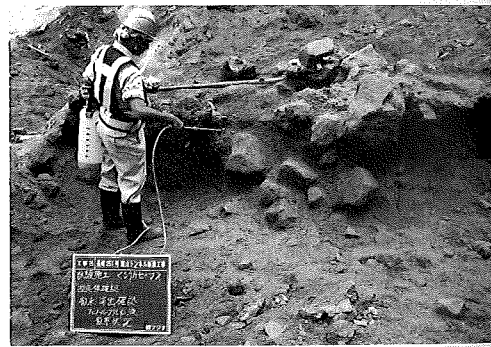


写真-2 フェノールフタレイン液散布状況



写真-3 眉山トンネル工事施工監理委員会実施状況

表-3 補助工法試験施工結果

	材料A (当初設計材料)	材料B	材料C	材料D	材料E
ゲルタイム	約120 (分/20°C)	約80秒	90±20 (秒/20°C)	1~10分(調整可)	1~10分(調整可)
経 済 性	◎	○	○	○	○
注 入 量(ℓ) (設定: 354 ℓ)	70	344	533	533	289
注入圧力(kgf)	2.0~27.0	1.5~26.5	0.5~1.0	0.2~5.0	2.0~2.0
終 了 条 件	圧力上昇	圧力上昇	1.5倍	1.5倍	1.5倍
材料の逸走	なし	なし	なし	なし	なし
改 良 状 況 (目標: φ450)	一部鋼管上方に脈状に注入されているが、範囲が狭く限定的である。鋼管下方においてフェノールフタレイン溶液反応は見られるものの改良効果は見られない。	改良径は30~45cm程度、最大65cmとおおむね目標の改良体が形成されているが部分的に目標を大きく下回る結果となった。	30~50cm程度の隙を取り込み、改良径50~60cm程度の改良体が形成されている。圧力上昇が見られないため、設定注入量の1.5倍まで注入したが設定注入量程度で所定の改良体形成が可能と考えられる。	注入圧力の上昇が見られないため、設定注入量の1.5倍まで注入したが、20~30cm程度の改良体しか形成されていない。固結度も低く、改良効果は小さいと考えられる。	注入材としての実績はなく、地下水への配慮から今回試験的に施工。ポンプの圧送性が懸念されたが、所定の注入作業は完了。改良径20~25cm程度の改良体が形成されている。
判 定	形成困難	形成確認も部分的にサイズ不足	形成確認	形成確認するもサイズ不足	形成確認するもサイズ不足
材料の溶出	なし	なし	なし	なし	なし
六価クロム	不検出	不検出	不検出	不検出	不検出

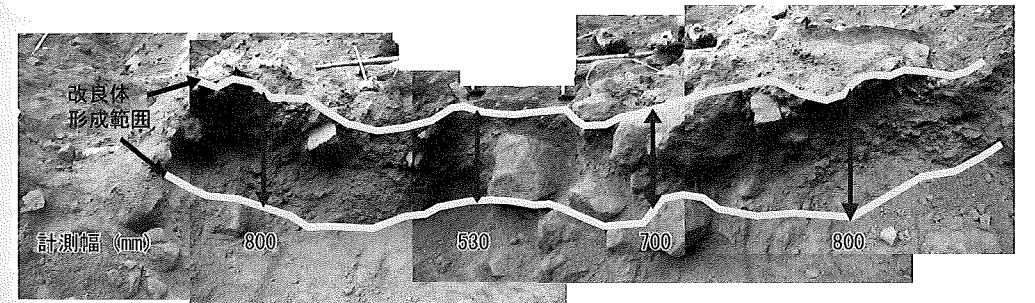


写真-4 改良体計測状況(材料C)

際に形成された改良体の状況を検証したうえで、注入材料として材料Cを選定した。

4-4 長尺先受け工の注入圧管理

補助工法のうち長尺先受け工については、注入材がロッドの周囲に均等に拡散し、改良体を形成するとともに、形成された改良体が相互に結合していることが重要であり、そのために注入量や注入圧の適切な管理が重要である。そこで、1本(L=12.5m)あたりの設定注入量を466ℓで設定するとともに、後行孔において注入圧が初期圧+2.5MPaに達したとき、もしくは設定注入量の1.5倍に達したときに注入作業を終了することとし、とくに

後行孔の施工に重点をおいた管理手法(図-7)とした。また、前述した試験施工において改良体の形成状況を直接確認することで、問題ないことを検証した。

4-5 坑口部の施工

坑口周辺では、土かぶりが1D以下、坑口から100mほど進んでも1D程度で非常に小さく、不均質の弱部が多数存在すると予想されていることから、掘削開始前の天端補強対策としてトレヴィチューブ工法を採用し、掘削前方を広範囲に補強したうえで掘削を開始するとともに、鋼製支保工設置時にプレロードシェル工法を組合せ、支保と地山を

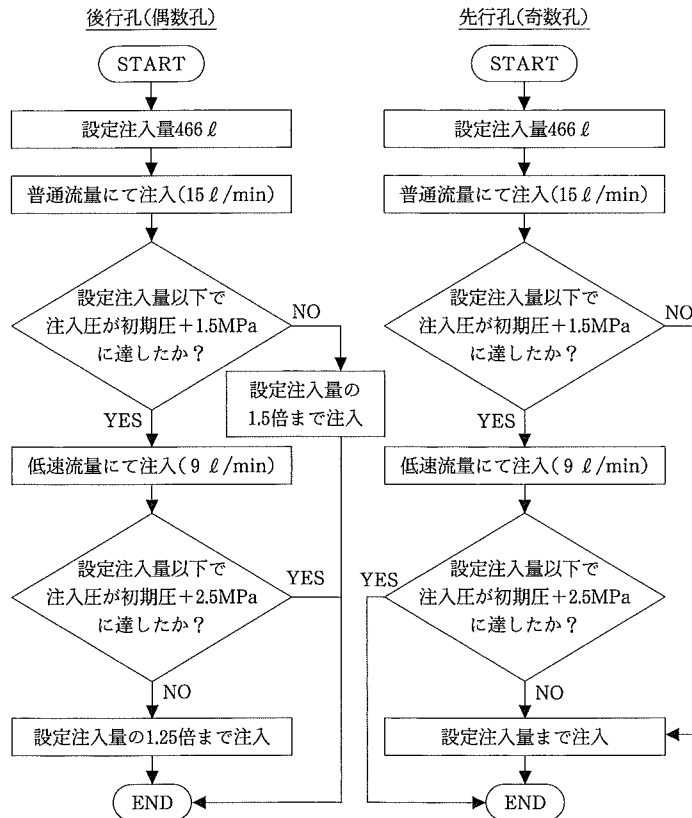


図-7 注入管理フロー図

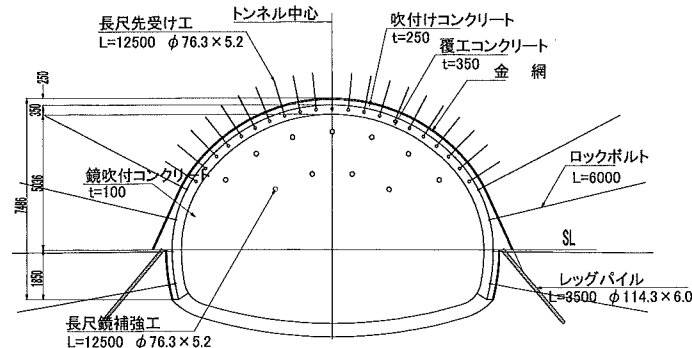


図-8 坑口支保工図(DⅢa-3)

密着させて固定することで地山の緩みを最低限に抑える工夫を施した。

FEM解析の結果、坑口部では脚部沈下の発生が懸念されたことからウイングリブ構造としたうえで、坑口から50m程度まではレグパイプを組み合わせて施工(図-8)した。施工にあたっては通常の坑内計測のほか、地表面沈下計測も実施したが、いずれも基準値内に収まった。

先受け工のラップ長が約50cmと一番短くなっていったことに加え、注入圧が上がりにくかったことから確認できていないが局所的に存在した非常に緩い地質状況下で改良体の形成が部分的に不十分となったことが考えられ、これらが複合的に重なった事案であると推察された。

ラップ長が短くなることへの対応は図-11に示すとおり、断面拡幅部を延長して施工することで

5 掘削時の剥落について

5-1 剥落発生状況

掘削開始後、土かぶり小さい坑口部周辺で懸念された変位の増大も見られず、切羽の状況も比較的安定しており、作業も順調に推移した。

しかし、No.112+15の長尺先受け工施工を境に、掘削が進行するにつれ急激に地山の状況が悪化、No.113+14付近で天端付近が高さ約5m、幅3m、奥行き約2.5mにわたって剥落(写真-5)し、坑内に約40m³の土砂が流入した。そのため、剥落がこれ以上進行しないように、1次の応急処置として剥落箇所内部に吹付けコンクリートを施工し、内部にエアミルクを充填した。

その後、「眉山トンネル施工監理委員会」において対応策を検討した。

まずロックボルトを用いて地山に直接縫いつけ、その後、剥落のさいに充填塊前方の緩みが大きくなっている可能性も否定できないことから、充填塊を貫くように長尺先受け工を施工し、充填塊前方の改良を実施した(図-10参照)。

5-2 剥落箇所以降の長尺先受け工の検討

発生原因として天端部に巨礫が存在していた可能性があり、この巨礫が長尺先受け工によりアーチ状に形成された改良域に部分的に集中載荷し、長尺

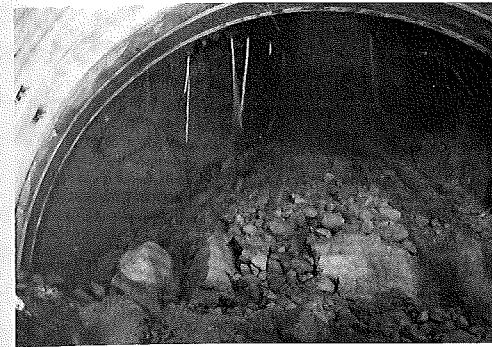


写真-5 剥落状況

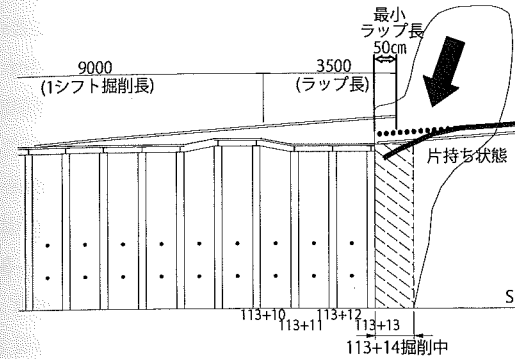


図-9 剥落状況

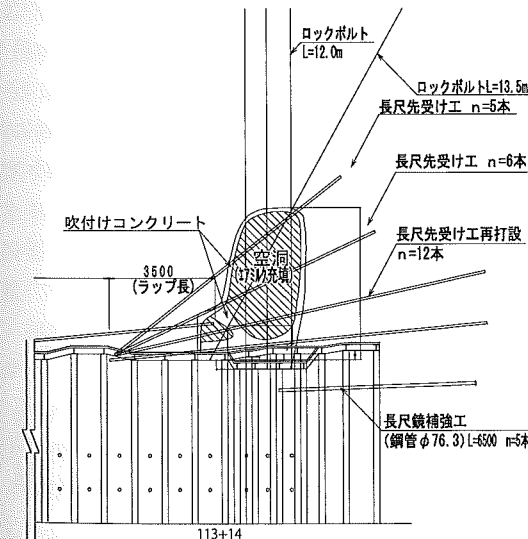


図-10 応急対策工

撤去する部分をなくすとともに施工長を12.5mとしていたものを13.5mに変更し、ラップ長を確保しつつ、片持ち状態の改善を図ることとした。

また、注入管理の対応について、当初の注入材の注入管理フローは先行孔(奇数孔)においては設

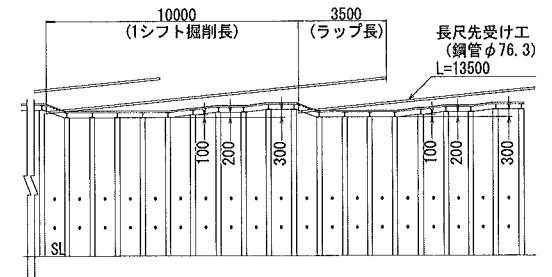


図-11 長尺先受け工改善案

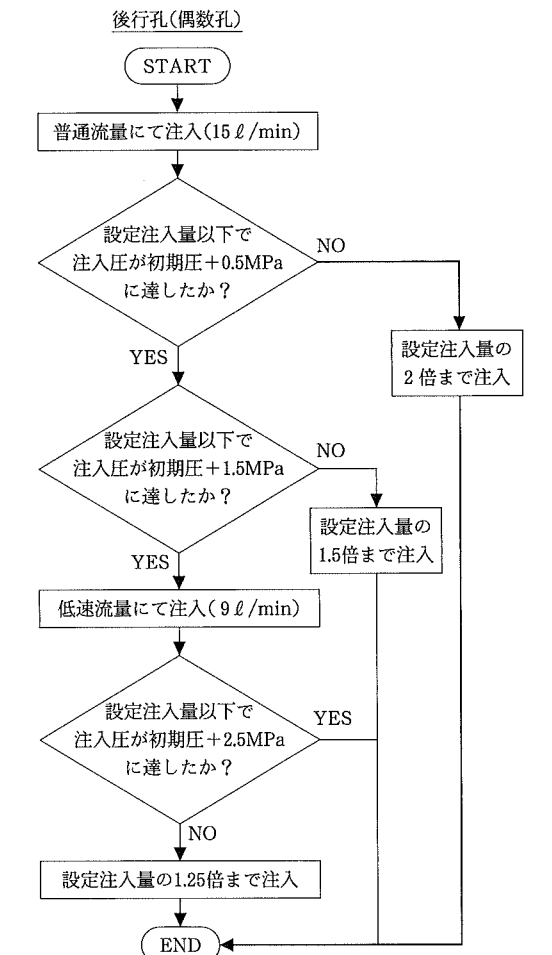


図-12 注入管理の改善案

定注入量で打ち止めし、後行孔(偶数孔)においては設定注入量の1.5倍で打ち止めすることとしていた。検討の結果、図-12に示すように後行孔において、最大で設定注入量の2倍で打ち止めとすることとした。

この改定注入管理により掘進を試み、図-13 (No.119+0.0)の坑内変位を示すとおり-10mm前

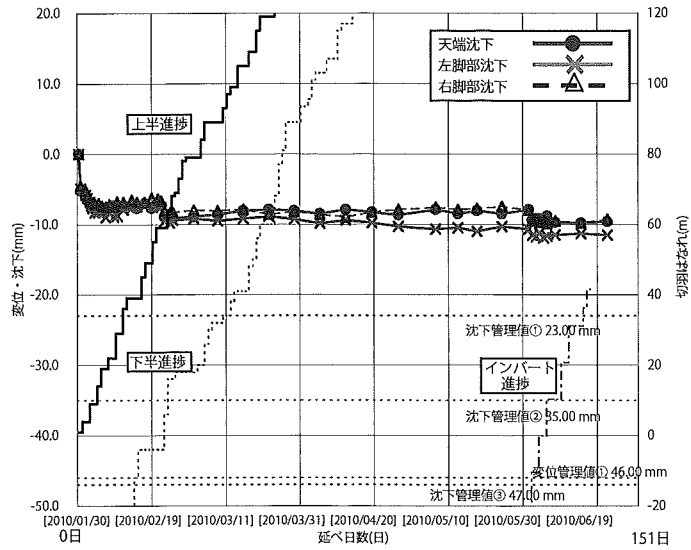


図-13 坑内変位図(No.119+0.0)

後で推移することとなり、順調に作業の進捗を図ることができた。

6 終点側坑口部の坑内変位対策について

6-1 掘削時の状況について

地山中央部では、沈下も-15mm程度となり切羽も自立安定していたため、当初計画どおり、No. 117+2.0においてDⅢa-1に変更し、作業を進めた。その後、沈下量が増加傾向に転じたため、支保パターンの変更について検討した。その結果、施工監理委員会での了承を受けNo.136+9.0においてDⅢa-1に変更することとし、今後の切羽の自立状況に応じてDⅢa-2に変更し、鏡ボルトを追加することとした。

しかし、終点側坑口に近づいたNo. 139+19付近より、再び地山の状況が悪くなり、図-12に示す改善後の注入管理手法においても先行孔において圧力が上昇しない状態となった。

そのため、対応について検討を実施、後行孔において、所定の圧力(初期圧+0.5MPa)に達するまで注入作業を実施し、注入量に上限を設けないことと

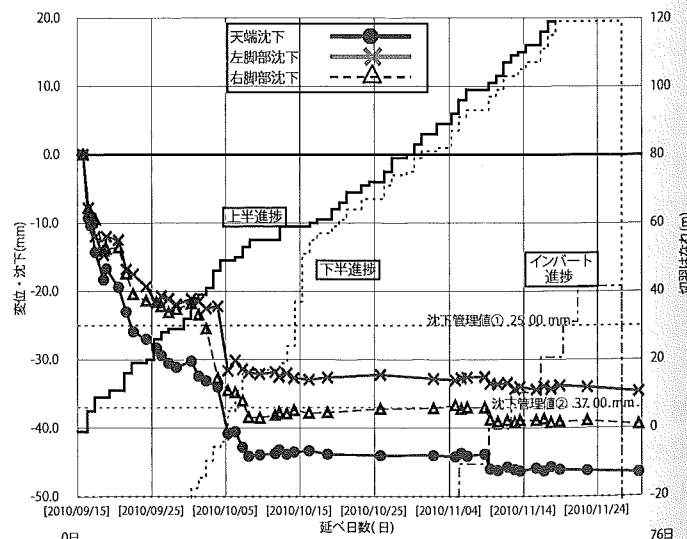


図-14 坑内変位図(No.145+0.0)

した。その結果、最大で設定注入量の7倍の注入を行う箇所も出現したが剥落などの異常は発生することはなかった。その際の坑内変位(No.145+0.0)について、図-14に示す。

これによると、天端および両脚部それぞれにおいて、上半掘削時に両脚部で約-20mm、天端部で約-30mmの沈下が計測された。その後、下半掘削時にさらにそれぞれ-10mm程度沈下するなどし、-45mm程度で収束していることがわかる。このときの土かぶり厚は13m程度で、弾性波速度は0.5km/s以下の領域となっており、坑口部のルーズな地山の領域にさしかかっていることが

うかがえる。

6-2 対応策の検討

今後もとくに脚部の沈下量が卓越することが考えられ、対策を講じる必要があると判断し、DⅢa-2への変更(鏡ボルトの追加)、および両脚部のウイングリブおよびレッグパイルの追加について、施工監理委員会において検討した。鏡ボルトの追加については、切羽が比較的安定傾向にあることやこれまでの施工結果で、起点側では当初計画より鏡ボルト施工区間を短縮したことより、切羽の

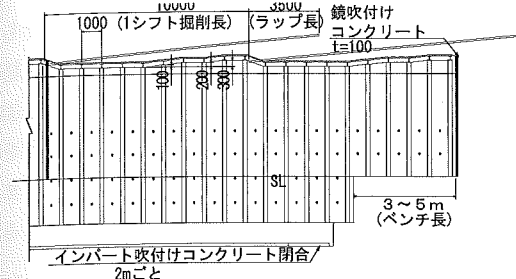


図-15 マイクロベンチ

安定には長尺先受け工が効果的であると考えた。脚部の沈下対策について、ベンチ長を3~5mに変更するマイクロベンチによる施工により支保工を早期閉合し、変位を抑制することとし、それでも変位が大きいようであれば、ウイングリブやレッグパイルの併用を検討することとした。

6-3 支保工の応力計測および変位計測について

マイクロベンチ施工は、その効果を検証するため、施工前と施工後における支保工の応力測定を行った。

測定にあたっては、写真-6に示すように鋼製支保工に溶接型の歪みゲージ、吹付けコンクリートには内部応力を測定する歪みゲージをそれぞれ天頂部と上半、下半の1断面あたり計5か所に設置し、作業の進捗にともなう応力の変化を観測した。

鋼製支保工の軸力変化を図-16に示す。

マイクロベンチ変更前については、上半掘削直後に急激に応力が増加し、下半掘削時にも作用応力が大きく変動していることがわかる。これに対し、マイクロベンチ変更後は、上半掘削直後からの応力増加は変わらないが比較的緩やかに作用し、大きく変動することなく収束に向かっている様子がわかる。また、収束時点での応力は変更前と変更後でおおむね同じであり、マイ

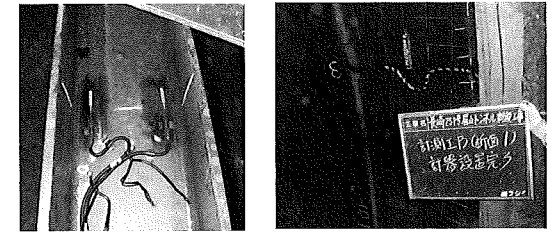
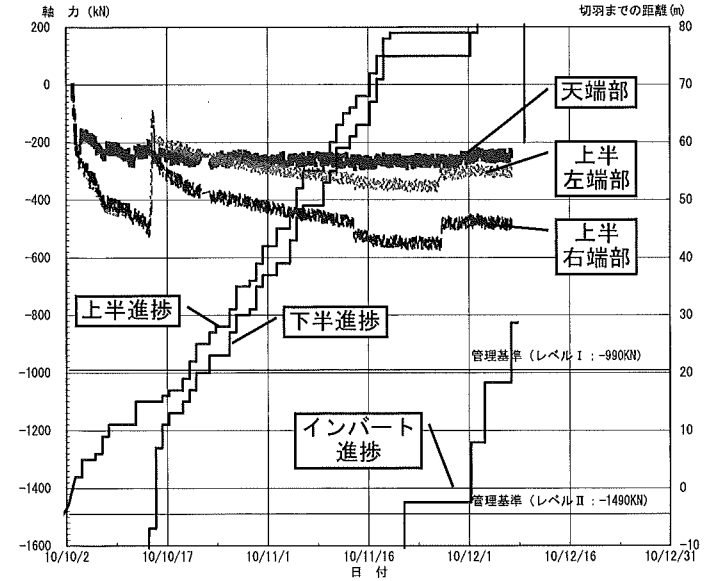
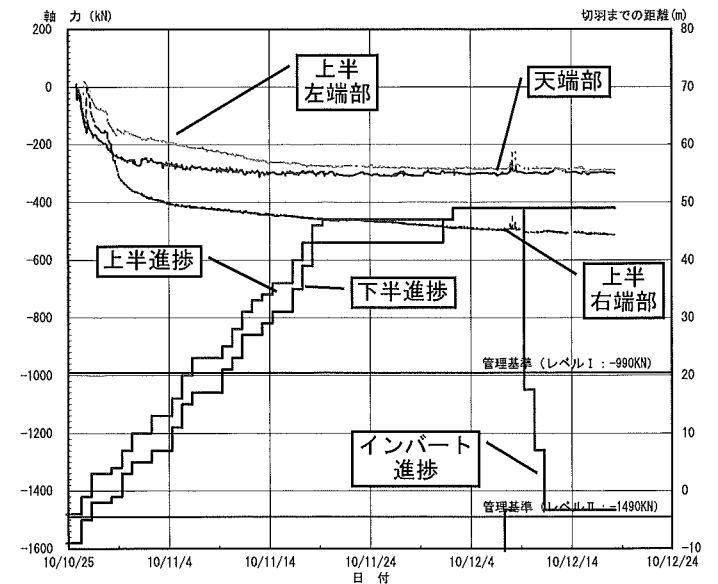


写真-6 応力測定ゲージ (1) 鋼製支保工用 (2) 吹付けコンクリート用



(1) マイクロベンチ変更前



(2) マイクロベンチ変更後

図-16 鋼製支保工軸力変化図

第十九回
語り継ぎ
言ひ継ぎ行かむ

シールド技術に、
生きて生かされて



はじめに

昭和43年4月に、戸田建設に入社しシールドに巡り合い、定年まで携わることができた。ありがたいことである。「シールド技術に、生きて生かされて」まさに揺籃期からの技術の発展の流れの中にいた。わがシールド人生を振り返り、連綿と続く技術の流れを今まさに支える人達にエールを贈りたい。

シールドの原点を見る

■東京都下水道局・真島町幹線(昭和43年)一圧気併用手掘り式シールドに現在の同時裏込め注入システムの原点があった—

研修を終えた私は、上野公園の桜の若葉が美しいころ、湯島、切通公園にあった真島町幹線に配属され、着任した。おりしも高度成長期(岩戸景気)、インフラの整備が進行中。シールド到達部に近い湯島天神下は千代田線湯島駅の開削工事中であった。

現場は坑口から92m、曲線半径

R=68.5mを施工中。施工条件は、外径φ2,350mm、土かぶり21.7m、地下水位GL-4mの細砂層である。

会社として初施工となるシールド工事。現場は緊張感と熱気の中にあつた。昭和40年4月、松戸の機材工作所敷地内でシールド外径2,900mm、延長20mの実験工事を行った。先発する同業各社に教をいただき、議論を重ねた。会社技術陣の総力が結集されていた。

「曲線の余掘りは大きくないか」「裏込めはどうだ」「豆砂利の併行注入は」すべては、切羽とトンネル地盤の安定である。

切羽に立つものはだれしも、地山の安定のためにテールボイドをすぐに埋めたい。裏込め注入は豆砂利とモルタルの分離注入方式である。豆砂利に流動性はなく、発生テールボイドへの充填性が問題であった。一方、モルタルをテールボイドに直接注入すると切羽刃口部に回り込む。テールシールより漏れる。豆砂利はシールド内配

岩井 義雄
(元)戸田建設株

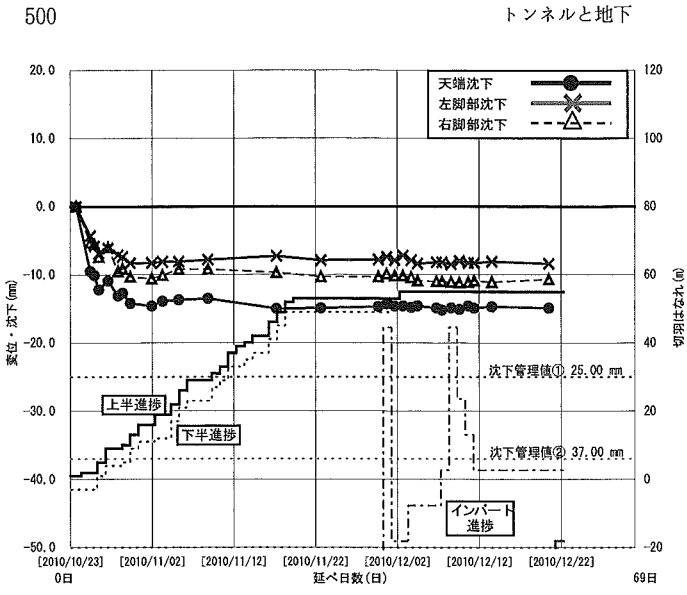


図-17 坑内変位図(マイクロベンチ変更後: No.148+0.0)

クロベンチ採用が支保工に大きな影響を与えるものではないことがわかった。これは、吹付けコンクリートの内部応力においても同様であり、変更前と変更後で大きな差異は認められなかった。

また、マイクロベンチ変更後の坑内変位の状況について、図-17に示す。

マイクロベンチ変更前の変位(図-14参照)は、上半掘削時、下半掘削時に大きい変位が発生しており、天端変位は管理レベルⅡ以上の-45mm前後で収束していることがわかる。マイクロベンチ変更後は、上半掘削時の変位以降目立った変位は認められないことがわかる。また、収束変位についても-15mm前後となっていることがわかり、30mm近い変位の抑制効果があったと思われる。

今回のマイクロベンチ変更により、変位の増大は抑えられ、切羽トラブルが発生することなく無事に貫通に至るとともに、当初この区間で想定していた鏡ボルト、レッグパイルなどの省略によりコスト削減も達成できた。

7 おわりに

今回は、未固結の火山堆積物地帯におけるNATMの施工実績、および補助工法の採用経緯

について述べた。土かぶりが最大でも約35m程度で、全線にわたって未固結の地山が連続しているという条件に加え、島原市民の地下水への高い関心を考慮し、作業着手前から委員会を踏まえた設計方針の検討や施工中における学識者と一体となった検討体制など、万全の体制により工事を進めてきたため、迅速かつ的確に現地の変化に対応することができた。

また、着手前に試験施工を行い、改良体を実際に露頭させて適切な注入材量、注入管理の妥当性を検証するとともに、地下水に影響がない材料を選定し、実際に施工中、施工後において地

下水の観測データに異常が見られなかったのは、順調な進捗の一助となる大変有意義なものとなった。

さらに、地下水への関心が非常に高い島原市民を意識し、地下水への影響がないことをさまざまな角度から検証するとともに、計17回にもわたる現場説明会により、多くの市民に工事の内容を理解いただけたことは特筆に値する。

平成22年11月下旬にトンネルは貫通し、平成23年3月に本体工事は完了した。また、島原中央道路は平成24年度の完成に向け、全線で工事を進めている。

最後に、本工事の施工および本文の取りまとめに際して、国土交通省雲仙復興事務所「眉山トンネル工事施工監理委員会」の蔣宇静委員長(長崎大学教授)、真下英人委員((独)土木研究所道路技術研究グループ長)、伊田彰秀委員(長崎大学教授)ほか、各委員の多大なるご指導をいただいた。この場を借りて深く感謝の意を表する。

参考文献

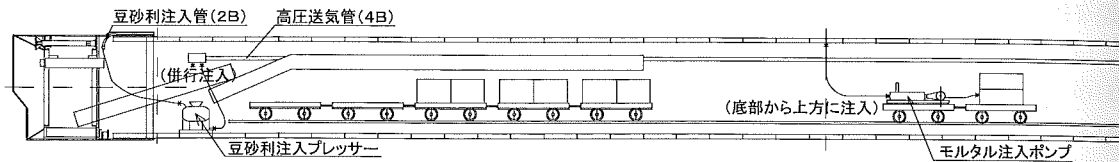
- 1) 土木学会：2006年制定トンネル標準示方書 [山岳工法]・同解説, pp.202-203, 2006.



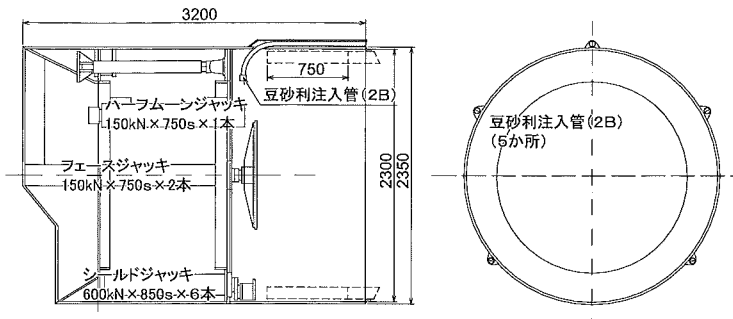
東京都下水道局篠崎幹線シールドの中央管理室にて指示値を追う筆者(左)

著者略歴

- 昭和43年 4月 戸田建設(株)入社
- 昭和43年 4月 東京都下水道局真島町幹線
- 昭和44年 2月 // 水道局金町配水本管
- 昭和44年 9月 // 下水道局野川幹線
- 昭和45年 12月 // 下水道局調布幹線
- 昭和50年 7月 // 水道局第二城南幹線
- 昭和51年 9月 // 下水道局篠崎幹線
- 昭和53年 8月 // 下水道局環八幹線
- 昭和55年 8月 // 下水道局砂幹線雨水函渠
- 平成7年 7月 // 水道局目黒幹線
- 平成10年 2月 戸田建設(株)東京支店機電課長
- 平成21年 3月 戸田建設(株)退社
- 平成21年 4月 コンサルタント(自営)



豆砂利とモルタルによる裏込め注入システム



手掘り式シールド(裏込め用豆砂利併行注入方式)

管でテールからの併行注入。モルタルはシールド後方15m(20R)から注入して早期安定を目指すものである。注入方法は原則として底部から上方へ向かって左右対称とした。

切羽の安定のための微妙なバランスで、圧気圧は切羽断面の天端から下、2/3の位置の地下水圧に合わせる。この点から上が過剰圧となる。そして下が不足圧となる。圧気シールドで裏込め注入を底部

から上方に向かって注入するという、当時の手順の理由のひとつがここにあった。

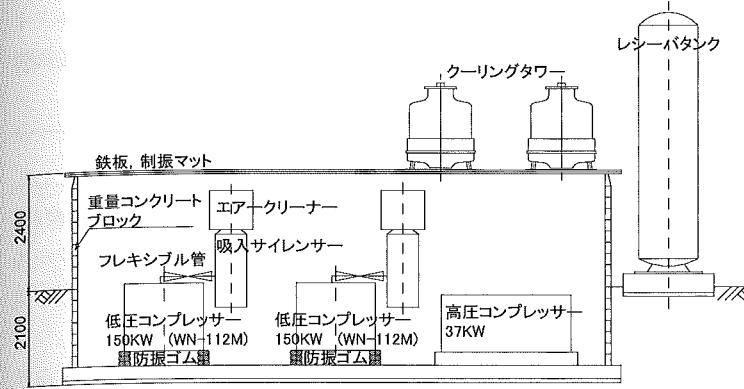
現在の同時裏込め注入に近いシステムであった。しかし、この技術の完成は、密閉型シールド、可塑性裏込め材、シールドジャッキ連動注入システム、ブラシ式テールシールドなどの開発を待たねばならず、地山の状態、シールド型式による各種注入方式、材料の模索が続くことになる。

一方、真島町幹線のシールドにはエレクターがなく、1ピースA型72kg、B型50kg、K型25kg(幅750mm)を2人がかりでシノで掴み、ベルトコンベヤの上に乗って肩で支えた。切羽の山留めジャッキで天端を押さえ、コールピックで掘削、併行注入、セグメント組立て。シールド工法は、工事を担う人たちの技と気力で支えられていた。

現場責任者から学ぶ

■東京都下水道局・野川幹線(昭和44年)―開放型シールド(圧気併用手掘り式)における有機ガスとの遭遇と建設公害の顕在化―

野川は東京都の中央に位置する国分寺市、武蔵野段丘の南端、崖線から湧き出る湧水を源とし、延長20km、遠くは武蔵野の露を集め、狛江で多摩川となる。



工事設備用半地下重量ブロック建屋

施工条件は、外径φ3,150mm、土かぶり10.6mで土質は砂層である。私にとって、本格的な圧気シールドの体験となった。

圧気の圧縮空気はコンプレッサによる。コンプレッサはレシプロ式である。負荷音「コン・コン・コン……」は心地よく、今でも懐かしい。この音が長いと過剰圧が懸念される。噴発が頭をよぎる。圧の調整が必要だ。

坑口から180m進行し、掘進は順調。突然、事務所の電話が鳴った。切羽の社員から「作業員の膝がふらつく。ピックに力が入らない。」との一報。

瞬時に、所長は「全作業中止、退避、切羽保安作業を除いて入坑禁止」「換気量最大」「急げ」「切羽の山留め状態を報告せよ」……「切羽空気、地下水の採取、分析準備」「全作業員の健康状態チェック、専門病院で受診」……

事務所の裏を流れる野川の汚濁だけではなく、地下も汚染されていた。切羽近くに精密機械工場があり、機械洗浄に使用されるトリクロロールエチレン(第1種有機溶剤)の廃液が漏れて浸透していた。

急性中毒である。「有機溶剤中毒予防規則」(労働安全衛生法)で規制されており、高濃度にはばく露した場合、短時間でめまい、頭痛、意識喪失が現れる。早い段階で適切な処置を講じないと生命にかかわる。管理濃度は25ppmであった。地下汚染は地盤改良などにより速やかな解決が図られた。

私は学んだ。切羽への集中。仕事を預かる者の責任の重さ。できれば切羽は密閉式、排土は完全クローズドで掘りたい。その後、私が技術開発で泥水式に指向するのはその思いによるものであった。

もうひとつ記録にとどめたい。「建設公害」である。当時はこのように呼んだ。

レシプロ式のコンプレッサからは騒音、低周波音と振動がでる。作業基地周辺には保育園、医院、民家があった。防音対策として、仮設備を半地下とした重量ブロックで囲み、屋根は鉄板と制振(ダンピング)マットの重ね構造とした。制振マットは重いポリマーベースの遮音層間に補強用シュートをサンドイッチにしたもので、遮音とともに、鉄板による低周波振動

を防ぐ。防振対策には初の試みとしてコンプレッサに防振ゴムを採用。ここには建設に伴う、環境保全への取り組みの原点があった。防音、防振設計は専門会社の協力が欠かせないものであった。

その後、これらは防音ハウスとして標準化され、都市土木にはなくてはならないものとして普及している。

住民には迷惑をかける。数字の問題ではない。その思いが技術を生む。環境保全のすべての思いが、今、野川にもサワガニ、カワセミを呼び戻している。

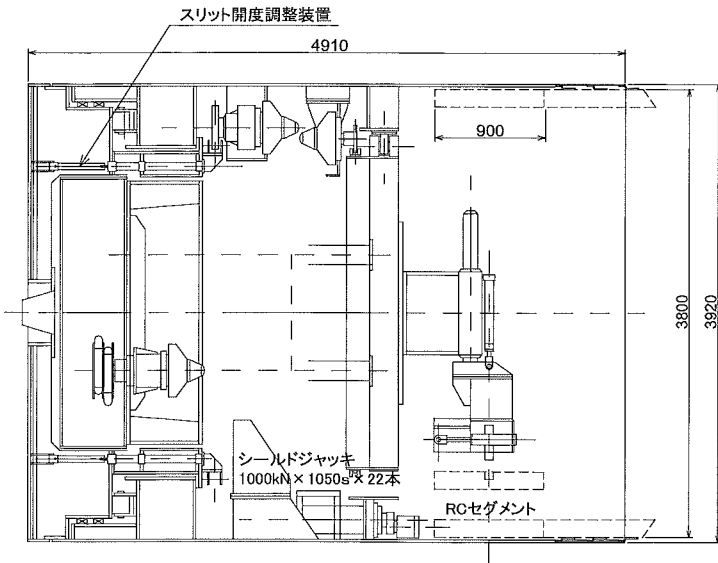
新工法、泥水式で掘る

■東京都下水道局・篠崎幹線(昭和51年)―泥水式シールドの切羽安定管理への挑戦―

本工区は、東方1kmに江戸川が西方2kmに新中川が南に流れ、河川で形成された三角州の低地と洪水時の土砂が堆積してできた自然堤防の境に位置する。

掘進土層は沖積世(第四紀完新世)の墨田砂層で、N値7~20、シルト・粘土分7%、含水比30%前後で崩壊性が高い。外径φ3,920mm、土かぶり6.5m。途中、京成電鉄金町線と交差する。

設計は圧気併用手掘り式シールド工法であった。崩壊性の高い砂層をいかに安定化して掘るか、この一点に集中した。開放型シールドの限界から、密閉型の泥水式シールド工法を選定した。開発途上にあった当工法で、カットスリット開度調整機構、切羽水圧緩衝システム(バッファタンク)、1次(泥



スリット開閉装置付き泥水式シールド

水自動注入)と2次(モルタル)の複合裏込め注入方式、3段テールシールドなどを計画し、発注者のご理解で工法変更が実現した。

基準の泥水比重1.2、ファンネル粘性30秒を守り切れるか、物質収支から、比重1.2を維持するためには、リングあたり1t以上の粘土で作泥する必要があったが、3m³の溶解槽2基でも間に合わない、粘土は岡山県産、笠岡粘土。作泥しても、比重1.2では溶解不能、クリーム状である。粘性維持のためのCMCも溶解困難。振動添加したが、粉がボール状になる。水あめ状に前処理をして添加を試みたがこれも成果が上がらない。

掘る人たちも懸命だった。1日1日が勝負の請負なのである。

安定液の調整法と管理基準値の見直しが急務となった。安定液の土槽実験と施工データの分析をくり返した。調整槽のファンネル粘性は毎リング計測した。さらに、

テール通過直後のセグメント背面地山の緩みをパッカー付きのコーンペネトロメーターで計測した。地山そのもののデータが欲しかった。N値20とは、こんなに硬いのか。手の力で、直に、ボイドの厚さ、緩みが体感できる。やがて皆で安定液管理に自信を持つに至った。雪解けには家族の待つ故郷に帰る。その人たちの思いにも、応えることができた。

京成電鉄金町線の横断に先だち、シールド通過前後の地盤挙動計測を実施した。地表面沈下点32点、地中沈下計28か所、傾斜計5か所。掘進に伴う地山挙動が手に取るようになった。さらに自信を深めた。カッタスリット開度調整装置も有効だった。

採取したデータをどう生かすか。刻々変化する地山状況に合わせ、必要などきに必要の粘性を切羽安定液に付与できれば施工性を向上できる。後で述べる省面積システ

ムの要素技術である「リアルタイム切羽安定管理システム」の構想がここで生まれた。

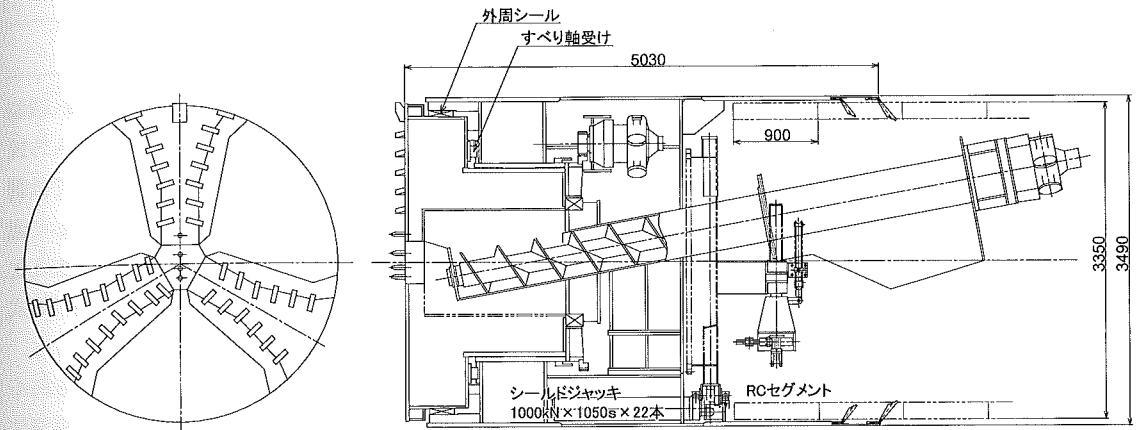
土圧の可能性に挑む

■東京都下水道局・環八幹線(昭和53年)一圧気併用土圧式シールドで帯水砂礫層(玉石混在)を克服

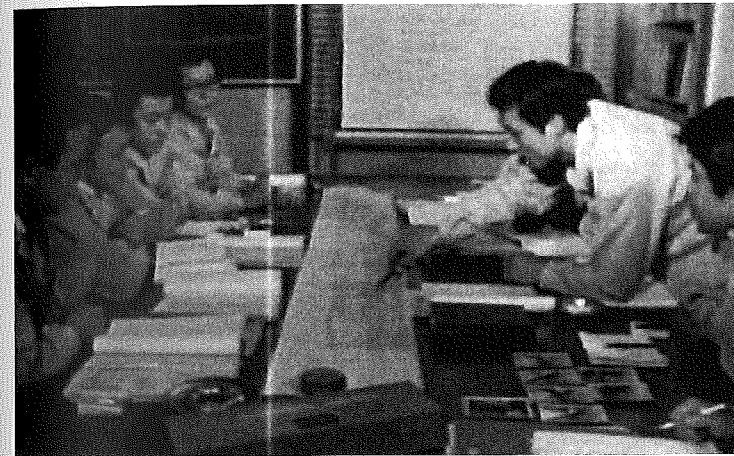
東京西部、武蔵野段丘に位置する善福寺川は、武蔵野の湧水を集めていた善福寺池を水源とする。横切る環八通りの下には1軸圧縮強度441MN/m²、せん断強度44.1MN/m²の新生代第四紀の閃緑岩の玉石が混じる段丘礫層がある。

外径φ3,490mm、土かぶり18m、透水係数10⁻²cm/sec、地下水圧120kPa、延長1,318mの条件で、全線、玉石混じり帯水砂礫層を掘る。帯水砂礫層は、開放型シールドでは圧気を併用しても施工が困難であり、密閉型の泥水式、土圧式シールドでも2,3の施工があるのみで、多くの問題点を残していた。泥水式では地下水圧には対抗できるが、玉石を含む礫を、どう処理して流体輸送を維持するかが課題であった。

輸送できない玉石はシールド内蔵のベッセルタンクからの取り出しやトロンメルでの分級、取り出しが試みられていた。また、シールド内蔵のクラッシャやラインクラッシャによる排泥ラインでの処理や面板にディスクカッタを装備し地山反力を利用して1次破碎することも行われ始めていた。一方、土圧式では土水圧をスクリーコンベヤの排土口でどのように安定



スラスト軸けにすべり方式を採用した土圧式シールド



現場検討会(環八幹線)

して大気圧にバランスさせるかが大きな課題であった。そしてカッタビットなどの耐久性確保が課題として残されていた。

選定した土圧式シールドの施工限界を、どう伸ばして長距離の帯水砂礫層を掘り切るか。それが当工事での最大の課題となった。機械メーカ、掘進協力業者一体となって可能性を追求した。

120kPaの地下水圧にはまず、80kPaの圧気で対抗する。透気試験の結果から90kPa以上の圧気はブロー量が増大する。残り、差圧40kPaには、スクリーコンベヤの

止水性で対抗する。スクリーコンベヤでベントナイト溶液を添加した掘削土砂を充填圧縮する。螺旋形の連続した止水壁を造成しようとするものである。礫層の粒度分布は平均で礫分が70%、砂分が20%、シルト・粘土分が10%である。スクリーコンベヤの止水性を確保するために、カッタチャンバとコンベヤ内にベントナイト溶液の注入と排土口ゲートの開度を調整する。ゲートは圧縮圧保持と礫搬出のため2枚板構造、上下開口とした。さらにカッタへの作用負荷と耐久性を考慮し、スラスト

軸受けにはすべり方式を採用。カッタビットは強化型である。

施工は、カッタ回転不能、スクリーコンベヤ排土口からの土砂の流失などのトラブルに対処しながら進められた。しかし、782Ringで掘進不能となった。外周部面板、カッタビットが損耗、チップが脱落、カッタ外周シールドの損傷。メンテナンスは覚悟していたが、大きすぎる損耗であった。

発注者のご指導を得て、不可能かと思われた非開削による損耗箇所の修復を実施した。何がなんでもこの機械で掘り切るという覚悟であった。

トンネル屋の切羽への戒めとして「切羽に背を向けるな」がある。これは、切羽には何があっても真撃に向き合い、恐れることなく、侮ることなく、掘らしてもらっているとの思いでプロの矜持を持てとしたものである。この言葉を胸に、会社も組織をあげて支援体制を組む。

修復はカッタを15°ずつ回転し、部材の原寸取り、部材加工図作成、FAX通信、工場製作、現場搬入、

取り付け修復のくり返し作業である。

圧気下、狭いカッタチャンバの中で、二人が作業。水と油、レバブロック、溶接ヒューム、引き抜いたコンベヤの取付け口から一人が安全監視と送気。後方に山留めの待機作業員、作業指揮者、連絡員そして事務所には責任者、シールドメーカー責任者が待機した。昼夜兼行、連続作業である。1か月を要して完了、よくぞここまでやれた。まだ掘れると確信した瞬間だった。

1軸圧縮強度441MN/m²の閃緑岩は硬い。スクリーコンベヤからの礫の取り出し。ピックはまったく刃が立たない。プレーカは踊る。削岩機がやっと、とどまる点を捉える。カッタビットの損耗は予想を超えていた。アプレシブ摩耗ではない。チップのチッピング、衝撃欠けである。ろう付け面からの脱落もある。チップの損耗からみて材質の抗折力の問題ではない。地山を「切削する」の考えを捨て、「ほぐす」「むしる」で考える。チッ



硬質玉石混じり帯水砂礫層の掘削状況(土圧式)シールド

プが欠ければ強化肉盛りは役に立たない。石英の硬さとの差を論じてみても意味がない。脱落は当時のろう付けの技術の限界であった。

この工事以後も連続と技術開発は続く。チップは差し刃型となり、ローラカッタが装備される。切り込みを入れる先行ビットの着想につながる。機械掘りカッタビットの最初は昭和41年の輸入機(米国Calweld社、Memco社)に装備されたものである。カッタビットは高周波焼入れした鋳鋼ビットや硬化肉盛りビットの消耗品であったと聞く。当時の現場の苦勞が偲ばれる。

残り679Ring。カッタすべり軸受けへの土砂の侵入を防止するためにグリースを連続注入しながら掘り進んだ。グリースポンプはエア駆動である。1リング、1リングに到達の願いを込めた……そして到達……掘らしてもらった。1リング、1リングの、カッタ回転を刻み続けたパルスモータは今も私の机の隅にある。

当工事は、土圧式の可能性を大きく広げるものとなった。写真は日本プロジェクト・リサーチ発行の『シールドトンネル工法の設計と施工技術、第7巻、砂礫層掘進上の問題点と具体策およびその実績』(昭和54年11月)の表紙である。土圧式はその後、泥土加圧式が開発され、現在、泥土加圧式としてシールド工法の主流工法となっている。

この工事の経験によって土圧式の可能性を理解しながらも、私にとっては泥水式の対応地盤の多様性に魅力が残るものとなった。

有楽町層を掘る

■東京都下水道局・砂幹線(昭和55年)―2液同時裏込め注入方式を採用した泥水式シールドで軟弱地盤の沈下抑制を実現、そして泥水処理での新たな構想の芽生えと油圧駆動カッタから電動駆動方式への転換―

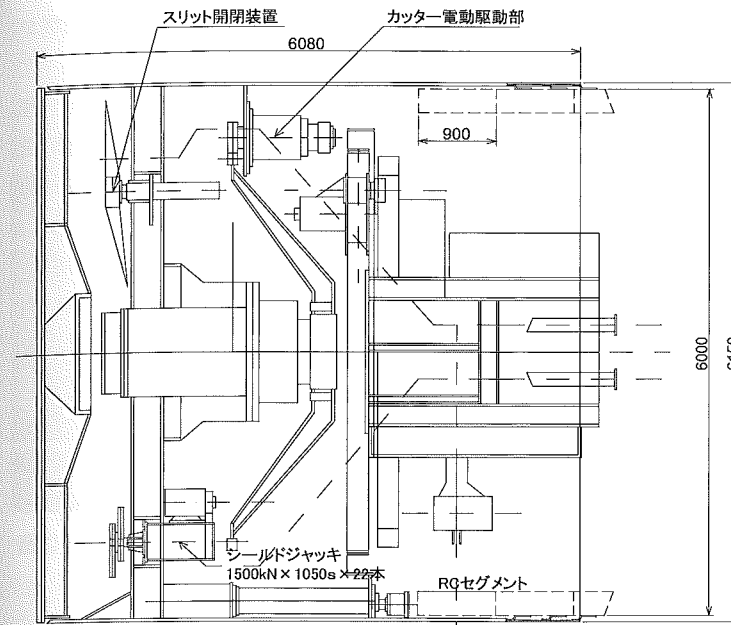
明治13年、隅田川の洪水を防ぐため荒川を放水路として東京湾に開削した。結果、流れることの意味を終えた川がある。発進立坑は、そのような中川(旧中川)の上流部沿いにある。ポンプ所となる場所である。

外径φ6,150mm、土かぶり21m、地下水位GL-2mで、土質はシルト・粘土分98%、上部0、掘進部2~5のN値。距離1,001mであった。

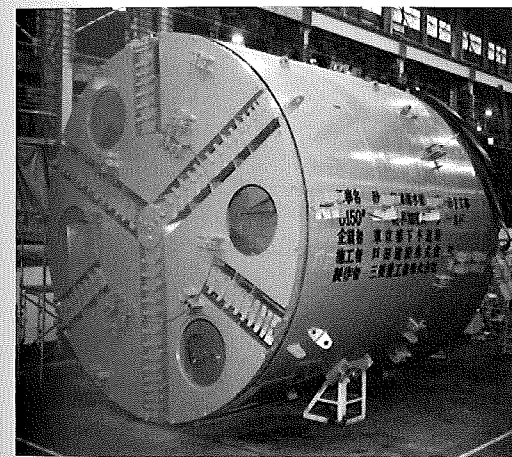
荒川流域の墨田泥層が地表面下34m付近まで堆積している。GL-16m付近まではほぼN値0である。軟弱地盤対応として密閉型シールドが選定され、当工事では掘進に伴う地表面沈下をいかに少なくするための最大の課題となった。そのための主要技術のひとつが裏込め注入である。

裏込め注入は2液(可塑状型)方式、同時裏込め注入システムを採用した。真島町幹線の豆砂利とモルタルの分離注入方式から12年、材料、注入機構など、多くの技術の積上げがあった。地上に配合、ミキシング、圧送プラント設備を設置し、シールド後続台車上で操作した。

この技術で直上の地表面沈下は



カッタ電動駆動型泥水シールド



カッタ水平停止装置装備のシールド

10mm以下に制御できるだろう。注入率、注入量、掘進管理データと地表面沈下を関連させ、今で言う情報化施工に徹した。期待どおり、沈下量は10mmを切った。くり返す地表面沈下計測にも力がいった。

シルト・粘土分98%、その半分がコロイドの泥水処理には、シールドでは初めて大型(80吋)の濾過圧1MPa、ケーキ容積15m³のフィルタープレスを採用した。物質収

支は全溶解であったが、N値2~5でも初期の段階では、20~30%が1次処理機(振動篩)により固形で回収された。粘土の固形物は篩網に付着するため、1次処理機前に粘土破碎ポンプを設置し全溶解にした。日進量はフィルタープレスの処理能力に制約される。

「塊で上がってくるのにもったいない。進行が上がるのに。」

篩網の粘土の塊をハイワッシャーで除去する作業員の一言が、これも後で述べる省面積システムの要素技術である「固形回収システム」の構想を生むきっかけとなった。

一方、ここで特筆すべきことは、シールドにφ6,000mmクラスで初めてカッタ駆動に電動駆動方式を採用したことである。従来の油圧駆動は速度変換、正逆回転、カッタトルクの設定が容易で信頼性があった。しかし、機械効率は油圧駆動の70%程度に対して電動駆動は90%以上。騒音、坑内温度の作業環境も大きく改善できる。コスト、メンテナンスも有利である。施工のリスク評価にもとづくシステムの改善とシンプル化の努力が電動駆動へと進ませた。

- ・速度変換に電動機出力軸とクラッチ軸伝達(VプーリとVベルト伝達)
- ・カッタトルク設定のための電磁クラッチ
- ・サイクロコンバータでの低速運転、直流制動によるカッタ水平停止の実現

などの対策である。「カッタ水平停止」は、上半カッタスリットの地山開放をバルクヘッド側から押さえておこうとしたもので、「天端は緩む」という切羽安定への懸念に対処する工夫であった。シールドメーカーが、技術で応えてくれた。

電動駆動化の実現によりφ2,000mmクラスのシールドでは後続台車での作業環境が大きく改善。先端の作業員が一番、喜んでくれた。

社会のニーズ 省面積

■東京都水道局・目黒幹線3工区(平成7年)―泥水式シールドにおける省面積立坑システムを開発、実用化―

東京都水道局では、震災時や事故時における迅速な対応と公平な給水が図れるように配水管の耐震化およびネットワーク化を進めている。

目黒幹線3工区は都道補助26号線上に発進立坑を設置する。私自身、切羽で陣頭に立つ最後の現場

となる。

外径φ2,336mm、土かぶり11~22m、土質は武蔵野礫層、上総層(固結シルト)で、戸田・大日本土木JVで掘る。距離は上流側1,265m、下流側335mである。

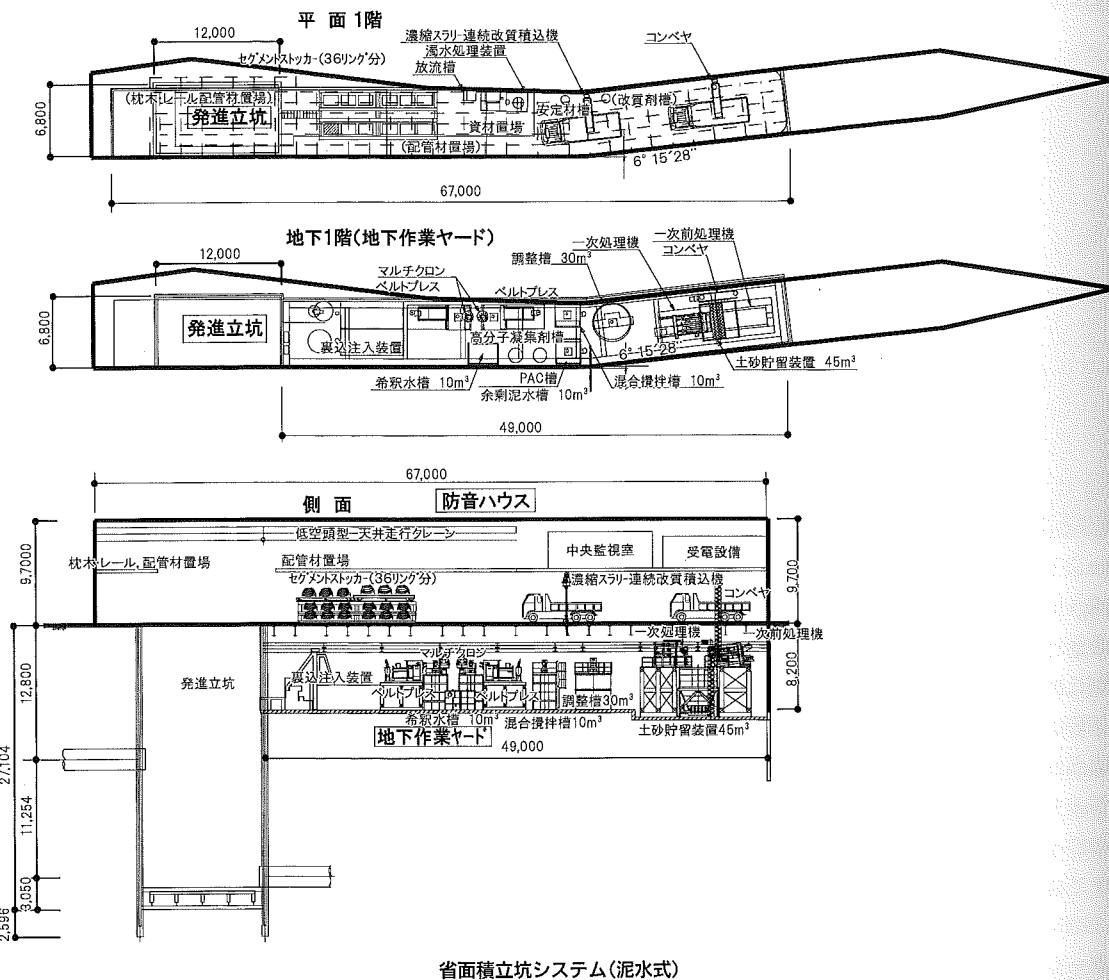
道路沿いには民家、マンションが密集、歩道を削り車道を拡幅して、中央に作業帯を設ける。地元住民への迷惑をいかに少なくするか、作業帯を立体的にコンパクトにするかが課題となった。発注者の判断で、当時、(財)下水道新技術推進機構と戸田建設が共

同開発中であった「省面積立坑システム」が採用された。

上総層(固結シルト)の溶解をpushさせて掘れば、地上の2次処理設備が小さくなる。固形物は普通土として処理できる。

砂幹線での作業員の「塊で上がってくるのにもったいない」の一言を研究していた。粘性土の地山を固形で回収できないのか。

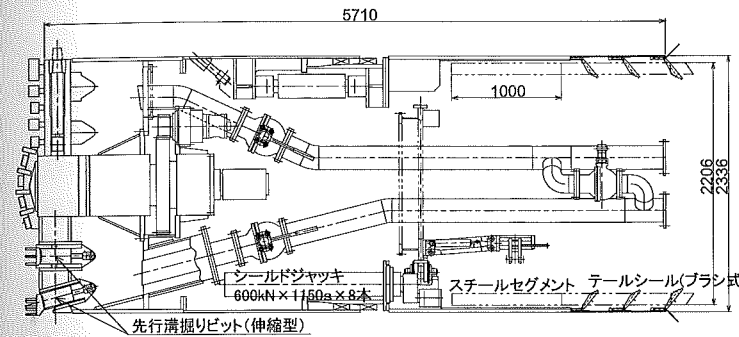
掘られた固形物は排泥管の乱流、レイノルズ数 $Re=3.9 \times 10^6$ ($V=2.6m/s, 150A$) の中で溶解してしまう。研究の中で輸送可能な固



省面積立坑システム(泥水式)



路上立坑基地全景(省面積立坑システム)



先行溝掘りビット(伸縮型)装備の固形回収型泥水式シールド

形物を単列輸送できれば、ほかの小さい固形粒子は運動量から無視できるのでとの考えが出て、計算を行い、そして輸送実験を行った。

固形物のN値、シルト・粘土含有率と輸送距離による溶解率がわかった。シールドで切り出される固形物の寸法を決めれば、カット回転数、掘進速度により固形物の個数が算定でき、流体輸送速度で単列輸送の間隔がわかる。ここがポイントだった。だれもが単列輸送になるとは思っていなかった。「固形回収システム」が誕生した。同時に溶解したシルト、粘土分は

凝集剤を添加して脱水処理せずに、濃縮して「流動化処理土」の材料に利用する「泥水濃縮システム」も生まれた。シールドは先行溝掘りビット(伸縮型)装備の固形回収型である。

武蔵野礫層では物質収支計算から作泥が必要だった。作泥設備のコンパクト化に「リアルタイム切羽安定管理システム」が採用された。篠崎幹線の墨田砂層掘進での取組みが起きた。土槽実験は基礎データとして重要であるが、現場はデータの数値どおりにはならない。

安全側だけでは進歩がない。掘

削状態は3次元、地山は生きている。

高分子系増粘剤、目詰剤の添加攪拌は、送泥管オンライン、200A、8エレメントのスタティックミキサーの分割、反転作用による。その粘度計測にはソフレーザ社(フランス)の粘度計をオンラインで用いた。

コンパクト化したシステムは後続台車に搭載し、15秒程度の時間差でシールドチャンバの泥水粘性を調整できる。単位は「cP(センチポアズ)」で一般に使用されるファンネル粘性と強い相関がある。中央管理室からの遠隔操作である。『省面積立坑システム・技術マニュアル』では、地山のシルト・粘土含有率により、泥水比重と増粘剤添加率を決めている。泥水比重は1.1~1.2の範囲である。

「省面積立坑システム」の採用により、原設計と比較して地下作業ヤード面積で61.8%、防音ハウス面積89.3%、防音ハウス体積57.8%と縮小することができた。ハウス高さは9.7mである。

技術の継承

中央線四谷駅、見附北交差点、右に折れて線路沿いに坂をくだる。外濠公園、葉桜が美しい。

平成14年5月から4年にわたり、土木学会トンネル標準示方書改訂のシールド分科会委員をさせていただいた。皆さんから多くのことを学ばせてもらった。技術の奥行きは深い。紙コップ1杯のコーヒーで、尽きない議論。楽しい思い出である。

ひとつだけ触れてみたい。シールド計画時の土質、土層分類に「玉石」があった。今までトンネル屋には不都合がない愛着のある呼び名であるが、はっきりとした定義があるわけではなかった。続く人たちははどうだろうかと話題にした。惜しむ声もあったが、分科会として主査から上位委員会に上げた。

平成18年制定の山岳、シールド、開削の示方書から、地盤工学会の分類名である巨石、粗石の名称になっている。

おわりに —すべては現場があってこそ—

ご指導いただいた発注者の皆様、共同研究でお世話になった(財)下水道新技術推進機構の皆様に感謝いたします。シールド工事はシールドメーカーの協力なくしては掘れない。厳しい施工条件、無理な要求にも高い技術力で応えていただきました。また、工事はたくさんの方の協力業者の人達に支えられている。苦労をともした皆さんに感謝します。

美しい弧状列島、四季の巡り、水と緑。突然、自然は荒々しさを見せる。

本稿を執筆していた、3月11日午後2時46分、東日本を巨大地震と津波が襲った。あまりの厳しい現実、言葉が浮かばない。が、人々は必ず立ち上がる。精一杯のお手伝いをするとこだ。恐れてはならない。悔ってもならない。

今も、これからも、現場の最先端に立つ人たちに感謝と励ましを贈りたい。

施工

軟弱層開削工事における土留め管理

—東京メトロ日比谷線 入谷駅出入口新設工事—

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課長 若澤利幸
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主務 蠣原実
(株)熊谷組首都圏支店土木事業部入谷駅作業所所長 柏原貴彦
(株)熊谷組首都圏支店土木事業部入谷駅作業所副所長 二井克延

1 はじめに

東京地下鉄日比谷線入谷駅は、対面式のホーム構造であり、A線側(北千住から上野方向)はホーム両端に出入口があり、2方向の避難通路は確保されている。しかし、B線側(上野から北千住方向)において、ホーム中央付近に地下連絡通路は確保されているが、出入口は上野側の1か所である。このため、火災対策設備整備における2方向避難通路とバリアフリー設備整備および列車風対策設備ならびに当社職場環境整備などさまざまな事業を目的とする工事を行うこととした。

当該工事箇所は、有楽町層を中心にした砂質土層および軟弱シルト層、埋土層地盤であり、開削工法にて改良工事を行うことから土留め壁の変位や盤ぶくれ対策について、あらゆる角度から検証し、また、道路管理者や関係各機関との調整を行い、苦慮した施工実績を報告するものである。

2 工事概要および周辺環境

2-1 工事概要

本工事は、入谷駅B線側に旅客の利便および非常時の2方向避難通路を兼ねた一般出入口、エレベーター、列車風緩衝塔、空調機械室などの整備を図るための改良土木工事である。工事場所は、

国道4号(昭和通り)および特別区道との交差点内に位置し、改良工事範囲は国道部下り車線部に位置する(図-1)。

なお、当工事は「入谷駅出入口新設その他土木工事」にて、杭打ち・路面覆工を行い、引続き「入谷駅出入口新設その他土木工事その2」にて掘削・躯体築造・埋戻し・道路復旧までを行った。

工事名称：入谷駅出入口新設その他土木工事、
同その2
工事場所：台東区下谷2丁目8番地先～
台東区下谷2丁目15番地先
工事期間：平成19年9月10日～
平成23年2月28日

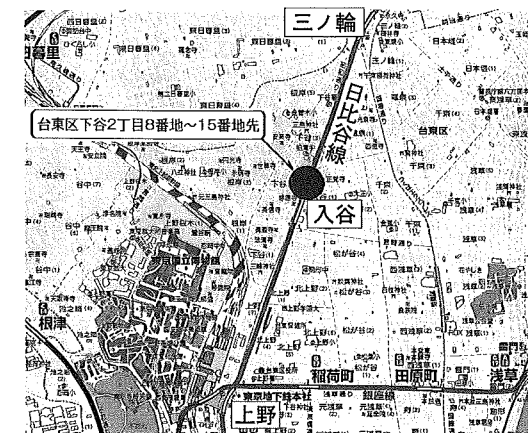


図-1 全体平面図

発注者：東京地下鉄(株)

請負者：(株)熊谷組

主要工事数量：

- 道路施設物処理工 1式
- 土留め工 1式
- 路面覆工 802m²
- 薬液注入 775m³
- 掘削 6,481m³
- 埋設物専用桁設置 25t
- 埋設物防護工 1式
- 鉄筋コンクリートこわし 26m³
- 防水層 1式
- 鉄筋コンクリート 1,373m³
- 埋戻し 1,927m³
- 埋設物専用桁撤去 25t
- 路面覆工撤去 802m²
- 残置鋼矢板切断 70か所
- 残置鋼杭切断 18か所
- 道路復旧工 1式

土留め欠損部地盤改良特殊セメント1型

72m

土留め欠損部地盤改良特殊セメント2型

294m

民地部地盤改良1式

民地部基礎杭1式

地盤改良(地盤)特殊セメント1型

38m

2-2 周辺環境

当工事区域の周辺環境は、国道4号(昭和通り)と特別区道の交差点に位置し、上野駅の隣の駅という立地条件より商業施設が密集しており、昼夜を問わず人通り、車両交通量ともに非常に多い道路を使用しての施工となった。

施工区域の95%が道路下であるが、昼間作業帯の設置が認められず、路上作業は夜間工事に限定された。

また、施工範囲が国道下り車線全域であるため、国道の上下車線を規制する作業帯で、21~5時ま



写真-1 路面覆工設置状況

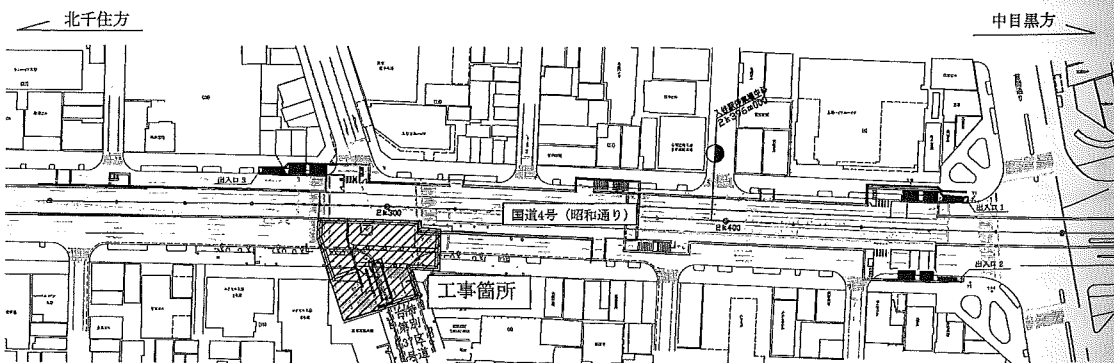


図-2 施工位置平面図

での道路使用許可条件の作業となり、区道についても交通を確保しながらの分割施工を実施した(図-2)。

2-3 地形概要

当該作業場所は、東京地下鉄日比谷線入谷駅に位置し、東京低地内部の「砂州」および「東京湾海岸平野」の境に位置している。作業場所は、荒川や隅田川などの氾濫と蛇行によって生じた広大な氾濫低地が分布しており砂堆(あるいは自然堤防)と呼ばれる微高地が部分的に形成されている特徴を持つ。

また、台地の側面が低地側へと下っている斜面で、台地面と同様に安定した地盤となっている場所もある。一方で、後背地から浸透してくる雨水や地下水の影響で地盤の軟弱化や降雨による流水によって台地側から運ばれて再堆積した軟弱土が分布する場所も存在する。

3 仮設計画

3-1 慣用法による仮設計算

当該工事を発注するための仮設計画は、現場の環境が国道・区道の交差点に位置すること、また工事目的物である出入口を設置する民地の取得前でもあったため、当該工事箇所でのボーリング調査が実施できず、近隣の土質データをもとに慣用法による仮設計画を行った。仮設計算結果は、土留め壁部材に鋼矢板(IV型)を使用、また被圧水による盤ぶくれ対策として、鋼矢板先端をG.L.-19.52mの粘性土層に(当初設計時土質データより)1m程度貫入させることとし、鋼矢板長を20.0mとした。

また、土留め支保工は2段としたが、慣用法による計算手法上、軟弱地盤層の根入れ部分に仮想支持点を設けて土留め計算を行うため、鋼矢板および支保工の部材応力度は余裕のある数値となった。

この計算結果およびこれまでの軟弱地盤での開削工法の経験より、当初から念頭にあった地盤改良による先行地中梁などの補助工法は、発注時に採用しなかった。

3-2 弾塑性法による仮設計算

平成19年9月には工事目的物である出入口を設置する用地を取得し、工事の発注が完了したことから、当該箇所での地質調査ボーリングを実施した。

ボーリング結果(図-3)から現状地質は沖積地層でN値2以下の軟弱地盤であり、『土留め工解析指針』(東京地下鉄, 2002.4.)より弾塑性法による

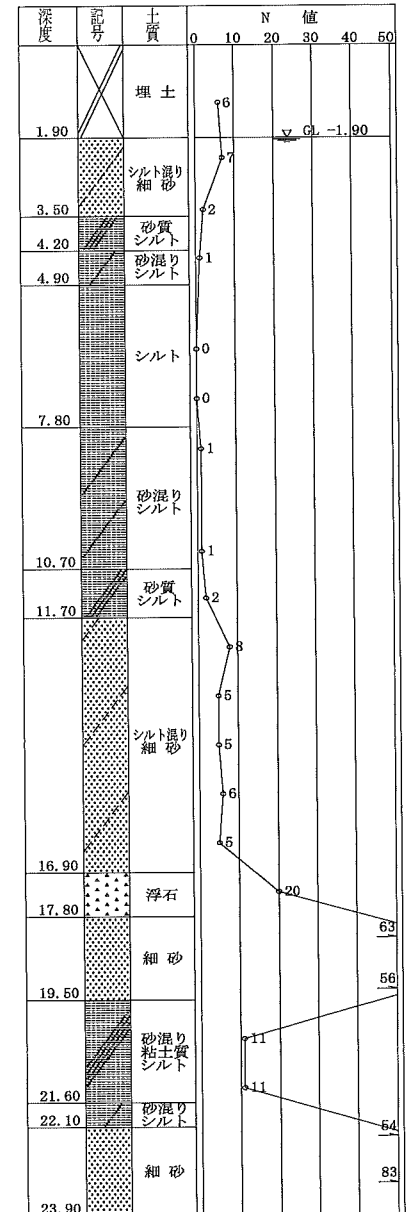


図-3 土質柱状図

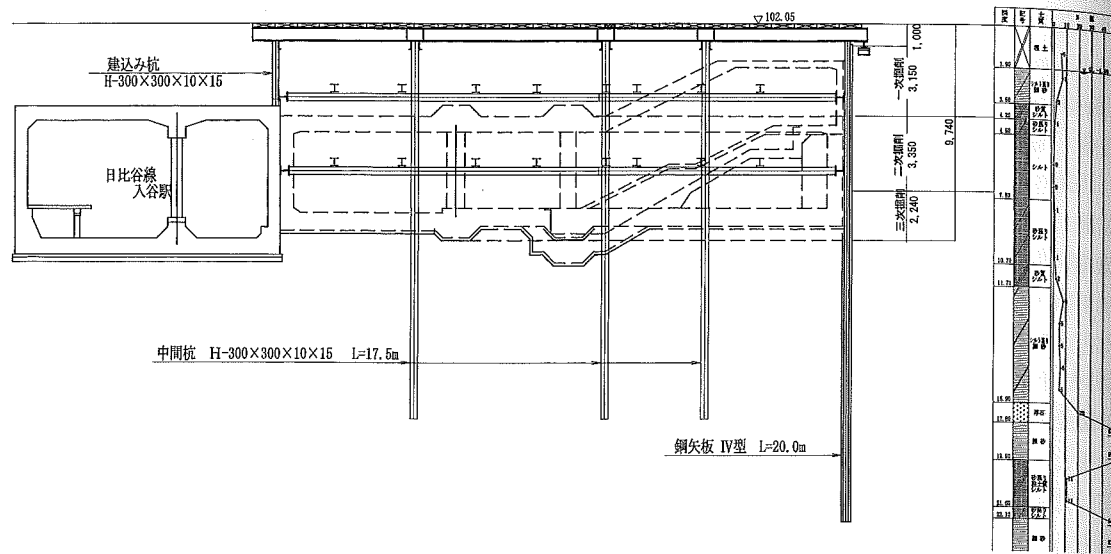


図-4 仮設検討断面図

表-1 土質条件

地層名	層厚(m)	N値	γ_v	C	ϕ
Fs	1.90	4	14.0	29.0	0
As1	1.60	7	17.0	0.0	27
Ac	8.20	1	15.7	28.0	0
As2	6.10	5	17.0	0.0	25
Ds1	1.70	45	19.0	0.0	45
Dc	2.60	11	15.0	68.0	0

解析をCASE 1～6にて行い、土留め変位および応力の比較検討を行った。

検討断面を図-4に示す。

慣用法による仮設計算と弾塑性法による仮設計算の使い分けについては、3-3節で記述する。

3-2-1 土留め壁の検討

(1) 設計条件

- 掘削深さ $H=9.74m$
- 地下水位 G.L.-1.9m
- 土質条件 表-1に示す。
- 検討部材
鋼矢板IV型 $L=20m$
断面係数 鋼矢板断面係数の80%が有効
剛性 鋼矢板の曲げ剛性の45%が有効
- 計算手法
弾塑性解析(軟弱地盤のため、変位の把握が必要)

表-2 許容値

項目	許容値	備考
鋼矢板の許容応力	270N/mm ²	トンネル標準示方書開削工法
鋼矢板の許容変位量	100mm	土留めと構築の離隔(または余掘り量)
地表面の許容沈下量	20～30mm	地中構造物の建設に伴う近接施工指針より

表-3 検討ケース一覧表

ケース	山留め壁		掘削側砂質	地盤改良の有無
	固定条件	先端		
CASE 1	固定	固定	掘削側水圧=背面側水圧	無
CASE 2	固定	固定	掘削側水圧=背面側水圧	有
CASE 3	自由	自由	掘削面からの静水圧	無
CASE 4	固定	自由	掘削面からの静水圧	無
CASE 5	自由	自由	掘削面からの静水圧	有
CASE 6	固定	自由	掘削面からの静水圧	有

- 底盤改良(変位を抑えるための手段である)
工法: 高圧噴射攪拌工法
改良厚: 1.5m
改良率: 70%

(2) 許容値

鋼矢板の許容応力・許容変位量、地表面の許容沈下量を表-2に示す。

(3) 検討ケース

土留めの検討は表-3に示す6ケースの場合で行った。

表-4 検討結果一覧表

ケース	応力度	変位量	沈下量	判定
CASE 1	上段	NG	NG	NG
	下段	NG	NG	
CASE 2	上段	OK	OK	OK
	下段	OK	OK	
CASE 3	上段	OK	NG	NG
	下段	NG	NG	
CASE 4	上段	OK	NG	NG
	下段	OK	NG	
CASE 5	上段	OK	NG	NG
	下段	NG	NG	
CASE 6	上段	OK	OK	OK
	下段	OK	OK	

(4) 検討結果

6ケースの検討結果を表-4に示す

(5) 考察

検討結果より、応力・変位量・沈下量すべてを満足する結果は、CASE 2とCASE 6である。この共通点は以下のとおりである。

- 鋼矢板頭部を固定とした。
 - 底盤改良を行った。
- また、両者の相違点は以下のとおりである。
- 掘削側砂層の水圧の取り方
CASE 2: 掘削側水圧=背面側水圧
CASE 6: 掘削面からの静水圧
 - 鋼矢板先端支持条件
CASE 2: 固定
CASE 6: 自由

CASE 2の場合、『2006年制定 トンネル標準示方書 開削工法』に準じ、掘削側水圧=背面側水圧としたため、掘削側に弾性域が発生しない状態となり、鋼矢板先端を固定にした。

CASE 6の場合、『道路土工 仮設構造物工指』(1999)に準じ、掘削面からの静水圧分布としたため、弾性域が発生し、従来の弾塑性法により、鋼矢板先端を自由にした。

以上の解析結果により、次に示す条件で鋼矢板の安定が確保できる。

① 鋼矢板頭部の固定

② 底盤改良(先行地中梁)

3-3 土留め仮設計算における慣用法と弾塑性法の使い分けについて

慣用法で用いる土圧は、実測土圧データを収集し、土圧分布形状を統計的に求めたいわゆる見かけの土圧だが、深い場合の実測値は考慮されていない。『土留め工解析指針』(東京地下鉄, 2004.4.)と首都高速道路(株)制定の『仮設構造物設計基準』によると、慣用法を使用する条件としては掘削深度が10m未満となっている。しかし、この計算方法は簡便であるために、限界がある。また、沖積地盤での設計や近接施工などで土留め壁の変形を求める必要がある場合、掘削深さが深い場合や地盤のN値が、全体的に2を下回る極軟弱な地盤での掘削では、弾塑性法を用いることになっている。

慣用法と弾塑性法を同一条件下で試算すると、通常の土質では慣用法は安全側に計算されるのに対して、軟弱粘性土地盤では弾塑性法が安全側の計算結果になることがある。このことから、境界深さは砂質土地盤、粘性土地盤(普通もしくは良質)ともに10mとしても、沖積地盤の軟弱粘性土地盤では浅い場合であっても、弾塑性法を用いた方が安全と思われる。

4 土留め壁の計測管理による情報化施工の実施

4-1 掘削に伴う土留めの管理

3章の仮設計画で示した結果により、弾塑性法による土留め壁の解析結果では、表-2で設定していた許容値を超える計算結果となり、安全な施工ができない。対策としては、先行地中梁の地盤改良が必要であるが、当該現場の条件は掘削深度 $H=9.74m$ であり、安全ではあるが過大になる可能性がある弾塑性法と当初設計時である変位量が出ない慣用法との解析結果を踏まえて、当初計画においては最初から先行地中梁をすべて施工するのではなく、掘削時に土留め壁・支保工の計測管理を行い、掘削に伴う土留めの変位を見ながら必要に応じて、先行地中梁を段階的に施工することとした。

4-2 土留め変位の管理値の設定

『地中構造物の建設に伴う近接施工指針』より地表面の許容沈下量を20~30mmに設定し、土留め壁の変位に伴う路面沈下量をFEM解析にて算出した結果をもとに土留め壁の変位許容管理値80mmとした。

1次および2次管理は、1次掘削の段階での土留め変位計測結果より、弾塑性解析に用いる土質の物性値を逆解析にて見直し、決定することとし

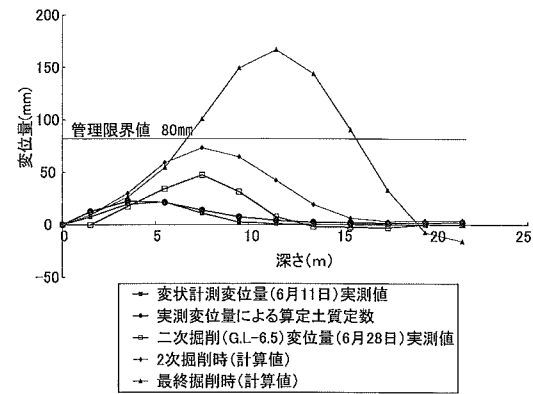


図-5 推定土圧による計算値-実測値変位図

表-5 土留め変位管理

管理基準	土留め壁変位の管理値	FEM解析による路面沈下量	地表面の許容沈下量
1次管理値	36mm	12mm	20~30mm
2次管理値	54mm	18mm	
管理限界値	80mm	27mm	

た。再解析においても最終掘削時に最大変位量80mmを超える結果(図-5)であり、最終変位を80mm以内にするため、掘削に伴う変位および地盤改良時の一時的な地盤反力低下による変位を含め、地盤改良実施前の最終的な許容変位量54mmを2次管理値とし、1次管理値は安全率1.5を考慮した36mmとした(表-5)。

4-3 情報化施工による掘削の実施

土留め計測は、隣接するビル部および道路部(国道車道部)の2か所にて実施することとした。計測方法については、土留め壁の変位計測に多段式傾斜計を設置、切梁支保工に軸力計および温度計を設置し自動計測による管理を実施した。

計測器の設置図を図-6に示す。

再解析をもとに掘削を進めた結果、計算結果と同様の土留め変位が認められ、1次管理である36

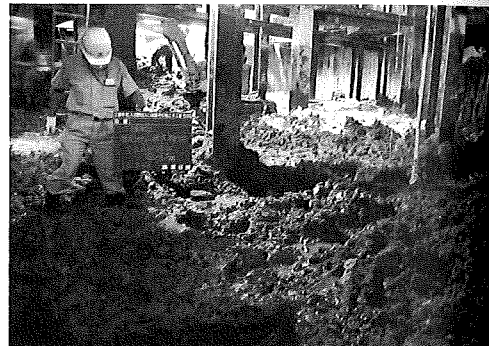


写真-2 掘削状況

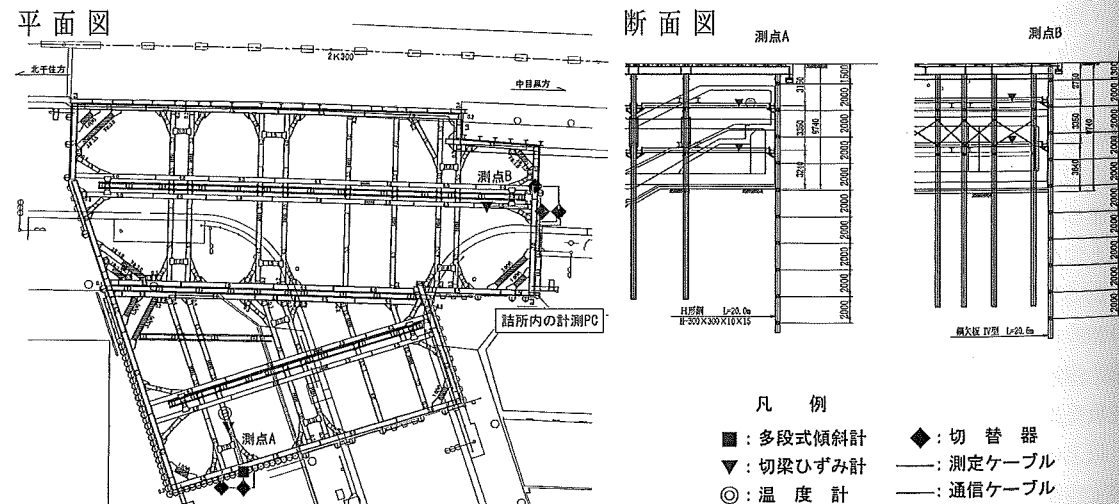


図-6 土留め計測設置図

mmを超える土留めの変位が2次掘削途中で確認されたため、掘削を中止し底盤の地盤改良を実施することとした。

4-3-1 地盤改良の実施

民地部分の底盤の地盤改良は道路部より掘削深度が深く、また隣接ビルがあるため、盤ぶくれおよび土留め変位防止対策を含めた全面地盤改良を事前に実施していた。

道路部の地盤改良を実施するにあたり、掘削内全面の地盤改良ではなく、土留め壁に接するように地盤改良(スーパージェットミディφ3,500, t=1,500)を実施することとした(図-7)。

地盤改良実施基準として、

- ① 土留め欠損部分は1列配置(背面を地盤改良実施しているため)
- ② その他は2列配置
- ③ 施工深度は民地部改良帯と同じとして施工した。

良実施しているため)

② その他は2列配置

③ 施工深度は民地部改良帯と同じとして施工した。

なお、地盤改良実施時の掘削深度は、G.L.-6.5mであった。

5 施工結果

地盤改良実施前の土留め壁の最大変位量は、1次管理を超え、G.L.-7.3mにて約44mmであった。また、地盤改良にて一時的に地盤を乱すため地盤反力が低下し、改良直後、実施深さ付近のG.L.-11.3mの土留め壁付近の変位量が約10mm程度増加したが、2次掘削から床付け掘削において変位量の最大値は57mmであり、周辺地盤への影響を考慮した管理限界値80mmを超えることなく、掘削床付けを終えることができた。

民地部は路面覆工後、先行地中梁としての底盤部地盤改良を実施していたため、掘削床付け完了までにG.L.-7.5mにて最大12mmの変位量で、地盤改良により土留め変位量を抑制できた(図-8)

また、路上の変位においても、大きな沈下は見られず躯体築造、埋戻し、道路復旧を無事に終えることができた。

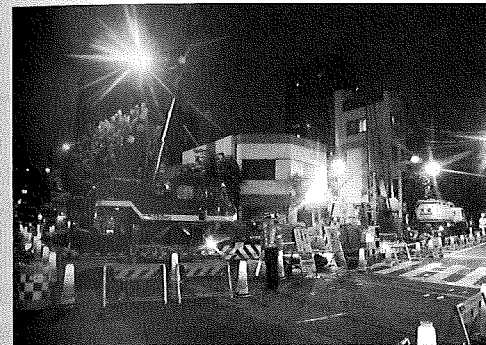


写真-3 地盤改良状況

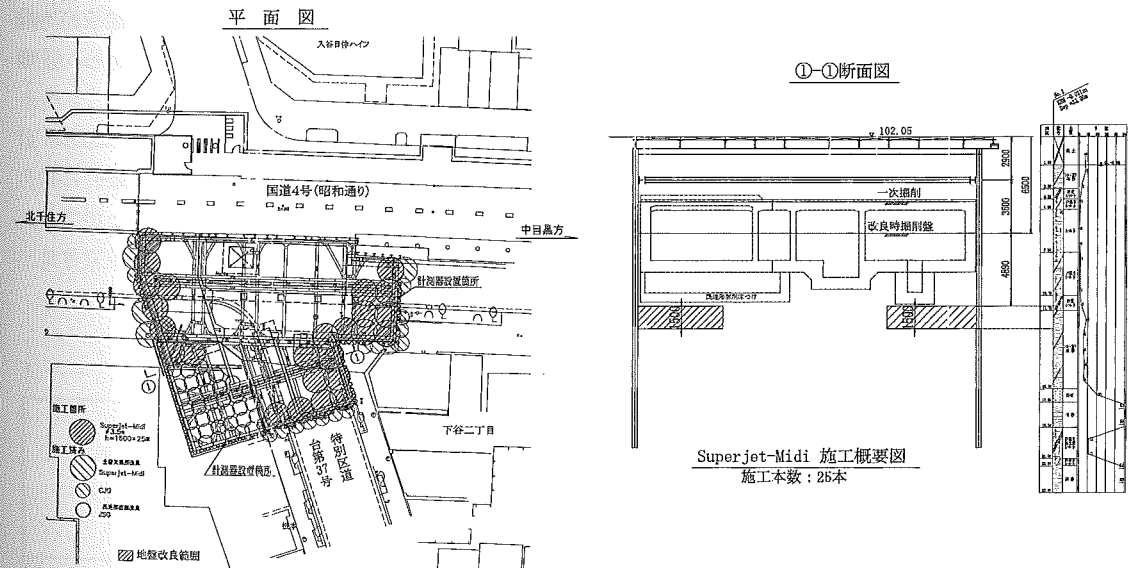


図-7 底盤部地盤改良施工図

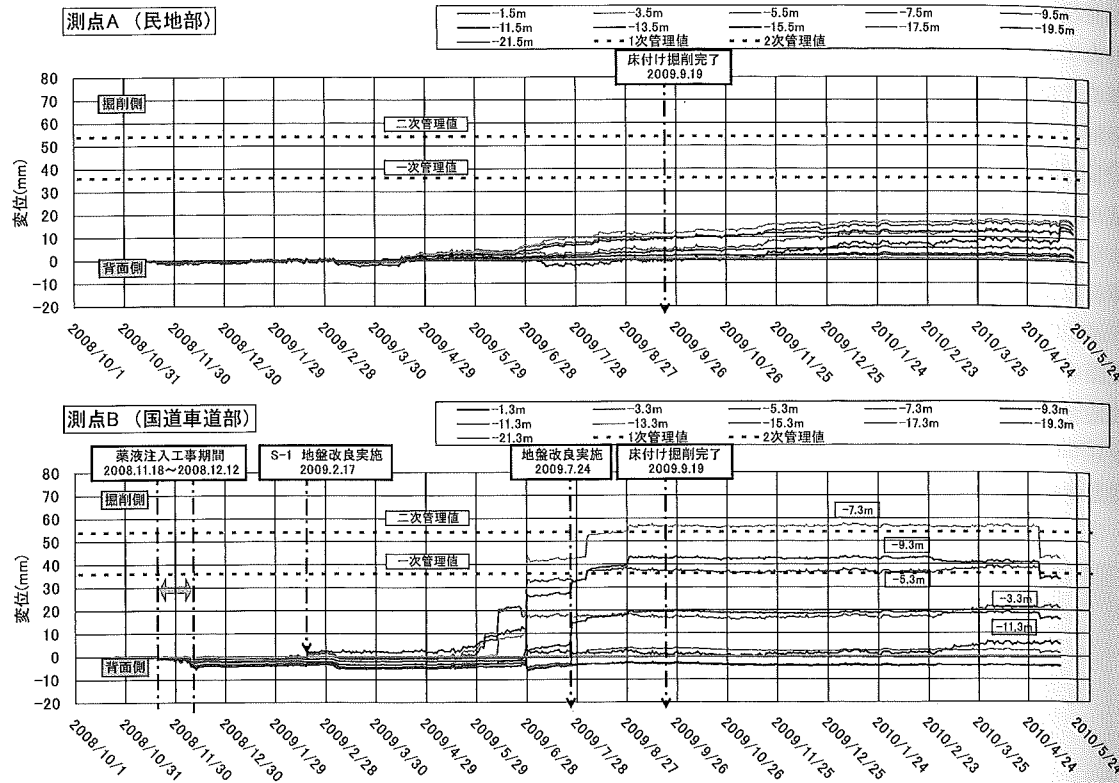


図-8 山留め変位経時変化図

6 まとめ

今回の工事箇所は設計段階における仮設計算の手法について掘削深さが10m未満であり慣用法にて仮設検討を行った。しかしながらN値0~2の軟弱粘性地盤であり、工事開始当初より国道および近接ビルへの土留め変状による影響が懸念されたため、弾塑性解析を実施し底盤の地盤改良が必要な結果となった。

このことから、慣用法と弾塑性法による計算結

果の相違によって補助工法の実施を含め施工方法、工程、安全、経済性に大きな差があり、難しい判断となった。その対応策として土留め計測を実施し、解析結果と比較検討しながら、地盤改良実施の判断および施工後の変位を管理しながら、工事を進めた。

地盤改良については土留め壁前面のみとし、計測管理を続けながら掘削することで結果的には、全面改良することなく工事を進めることができ、工程短縮、工費削減に結びつけることができた。

施工

水圧管路用の長大斜坑をTBMで掘削

—九州電力 小丸川発電所—

九州電力(株)小丸川発電所建設所土木工事課長 長崎 義美

九州電力(株)小丸川発電所建設所土木工事課副長 内田 浩平

(株)奥村組・佐藤工業(株)・大豊建設(株)・(株)浅沼組共同企業体小丸川工事所長 赤嶺 広史

(前)(株)奥村組・佐藤工業(株)・大豊建設(株)・(株)浅沼組共同企業体小丸川工事所工事主任 榛葉 良平

1 はじめに

九州電力(株)小丸川発電所は、宮崎県の中央部を東へ流れる一級河川小丸川において、その支流大瀬内谷川の最上流部に上部調整池を、小丸川本流に下部調整池を築造し、この間を約2.8kmの水路で連絡し、有効落差646mを得て最大出力120万kW(30万kW×4台)の発電を行う純揚水式発電所である¹⁾。平成19年7月に初号機(30万kW)の運転を開始し、平成23年7月に120万kWの最終運転を予定している。図-1に小丸川発電所位置図を示す。

本稿は、上部調整池と下部調整池を結ぶ水路のうち、TBMを用いて掘削した2本の水圧管路上

部斜坑の施工について報告するものである。

2 工事概要

小丸川発電所の水圧管路は、上部調整池の取水口と地下発電所を結ぶ高低差約730m、延長約1,270mの埋設式の鉄管路であり、1,2号の2本が並列している。上部斜坑は、分岐部(EL.148m地点の水平部)から上方に水圧鉄管(径3.9m)を埋設するための掘削延長888.7m、径6.1m、勾配48度の長大かつ急勾配の斜坑である。

施工は、まず、導坑掘削用TBM(以下、「パイロットTBM」)により、径2.7mの導坑をEL.148m



図-1 小丸川発電所位置図

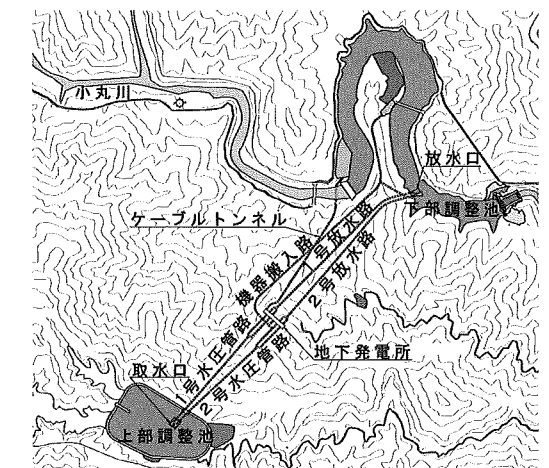


図-2 小丸川発電所平面図

セグメントの新技术

小泉 淳 監修 B5判 132頁 本体定価 2,000円(〒290円)



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

地点の坑内に設置した発進基地から上方へ向かって掘削した。その後、拡幅掘削用TBM(以下、「リーミングTBM」)により上部調整池の横の発進基地から下方へ向かって径6.1mまで拡幅した。運用開始時期を考慮し、2号、1号の順で掘削した。図-2に小丸川発電所平面図を示す。

3 地質概要

上部調整池と下部調整池を結ぶ水路系ルートは、新生代古第三紀始新世～漸新世の四万十累層群の日向層群(砂岩・頁岩)と、これにルート中央部ではほぼ直交するかたちで貫入している新第三紀中新世の花崗閃緑岩の岩脈状岩体を基盤とする。このうち、水圧管路上部斜坑ルートは、図-3に示すようにおおむね北東走向・高角度傾斜で成層した砂岩・頁岩が分布し、岩級区分はおおむねC₂級である。

掘進距離150m付近では、水圧管路ルートに対して高角度の破碎帯(以下、「弱層部」)があり、その性状は、幅1～3m程度で岩片ないし細片状を呈しており、弱層部周辺も変質鉱物をフィルム状にはさむ節理などが多数認められ、くさび状に抜け落ちやすい地質であった。

計画にあたっては、上部斜坑ルート沿いに高密度電気探査を実施して全体の地質構造の概要を把握するとともに、ルートの上部(上部調整池付近)、中間部(EL.440調査坑)、下部(EL.148調査坑)において原位置試験を実施し、岩盤物性を評価した。

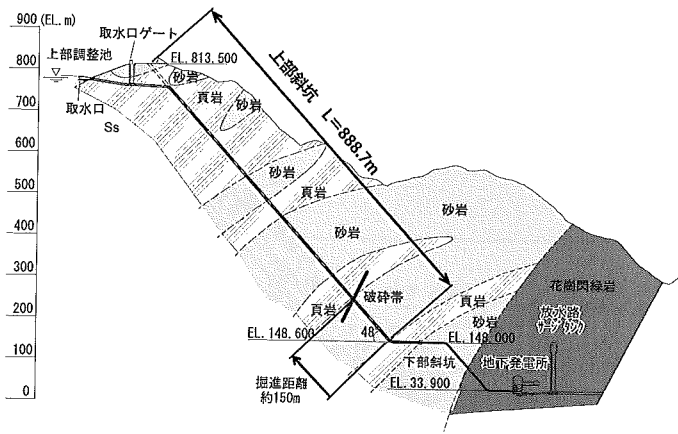


図-3 地質縦断面

4 TBMの仕様

導坑掘削では、弱層部の出現が予想されたため、シールドジャッキおよびシールドシェルを装備し、硬岩からグリップ反力のとれない弱層部まで掘削可能な全地質対応型のシールド型TBMを採用した。表-1にパイロットTBMの主要諸元を、写真-1に全景を示す。

拡幅掘削では、カッタヘッドがメインビーム上をスライドするカッタスライド方式のオープン型TBMを採用した。表-2にリーミングTBMの主要諸元を、写真-2に全景を示す。

5 TBMで切削可能なインバートライナの開発

これまで、TBMの滑落防止設備は、斜坑坑口から順次鋼材を組み上げて一定間隔で設置されたアンカー部に滑落荷重の反力をとる反力鋼材方法が用いられてきた。しかし、この方法では、拡幅掘削前にすべての反力鋼材を撤去する必要があるため、撤去作業に対する安全性、工程の確保が課題となる。そこで、拡幅掘削時に周囲の岩盤と同時に切削可能な材料を用いたインバートライナを開発した。写真-3にインバートライナの全景を示す。インバートライナは軽量化、運搬時の破損防止、切削時の靱性を高めるため、鋼繊維補強製のプレキャストコンクリート構造とした。

導坑は拡幅掘削時のずり出し坑としても利用されるため、従来型では反力鋼材や掘削ずりの自然落下により坑壁を洗掘する懸念があったが、インバートライナの採用は、その洗掘を防止するメリットもある。インバートライナ1ピースの形状は、導坑坑壁と同じ曲率で周長1,230mm、代表厚さ150mm、長さ600mmのコンクリートの曲がり板である。

施工方法は、1ストロークの掘進1.2mに対して、左右対称の2ピースを1リングとし、管軸方向に2リング並べた合計4個をTBMの盛替え時に順次

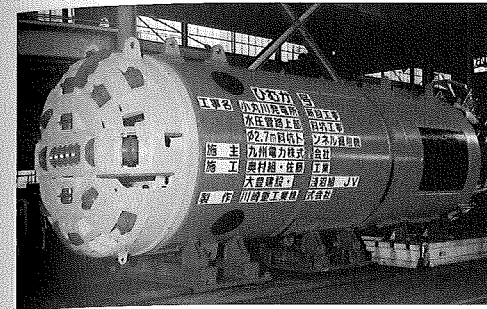


写真-1 パイロットTBM全景

表-1 パイロットTBM主要諸元

仕様諸元	形状・寸法
型式	シールド型
掘削径	2,700mm
機体長	8,020mm(後続台車含む60,590mm)
機体重	105t(後続台車含む145t)
モータ出力	264kW(132kW×2台)
カッタヘッドトルク	最大470kN・m
カッタ装備数	12インチシングル×5個 14インチシングル×17個
カッタヘッド回転数	9/4.5min ⁻¹ (2段階)
スラストジャッキ推力、ストローク	最大3,528kN, 1,200mm
シールドジャッキ推力、ストローク	最大5,880kN, 1,270mm
メイングリップ推力、ストローク	最大13,524kN, 150mm
フロントグリップ推力、ストローク	1,960kN, 上100mm, 下60mm
冷却水水量	最大600ℓ/min

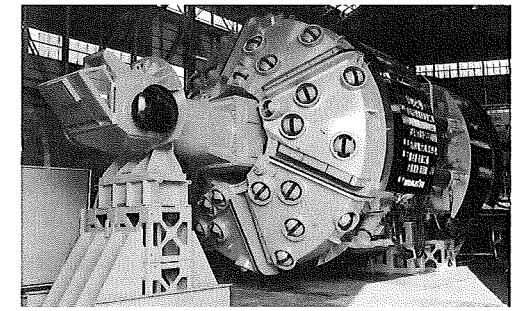


写真-2 リーミングTBM全景

表-2 リーミングTBM主要諸元

仕様諸元	形状・寸法
型式	オープン型 (カッタヘッドスライド方式)
掘削径	6,110mm
機体長	12,000mm(後続台車含む42,000mm)
機体重	313t(後続台車含む423t)
モータ出力	900kW(150kW×6台)
カッタヘッドトルク	最大1,921kN・m
カッタ装備数	17インチシングル×28個 12インチツイン×1個 インバート切削用×2個
カッタヘッド回転数	2.7～5.4min ⁻¹ (インバート制御)
スラストジャッキ推力、ストローク	最大6,664kN, 1,500mm
メイングリップ推力、ストローク	最大20,580kN, 左右各+350～-250mm
ノーズグリップ推力、ストローク	最大7,840kN, 左右各+280～-120mm
冷却水水量	最大800ℓ/min

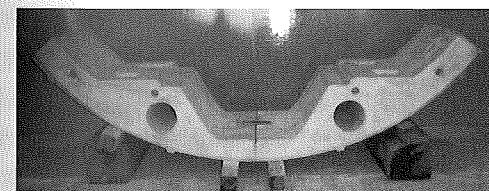


写真-3 インバートライナ全景

積み重ね、既設側と接続ピンにより連結する。さらに、FRP製のロックボルトを各ピース1本ずつ水平に打設し、岩盤との間にモルタル材を充填して岩盤に固定する。

インバートライナの採用にあたっては、材料試験、ライナ載荷試験、摩耗試験などを実施し、設計の妥当性および実施工への適用性を確認した²⁾。

6 弱層部対策

6-1 導坑掘削時の対策

導坑掘削における弱層部の通過時は、TBM本体後方から発泡モルタルを注入し、坑壁を安定させる計画としていた。

弱層部通過時の実施工では、①抜け落ちた岩塊がカッタヘッドを埋めるトラブル、②TBMの前胴にあるフロントグリップが坑壁からの反力を確保できないトラブル、③盛替え中にTBMの後胴より大量の岩塊が滑落するトラブル、などが発生した。そのため、発泡モルタルの注入に加え、リーミングTBMで切削可能なファイバーボルトの打

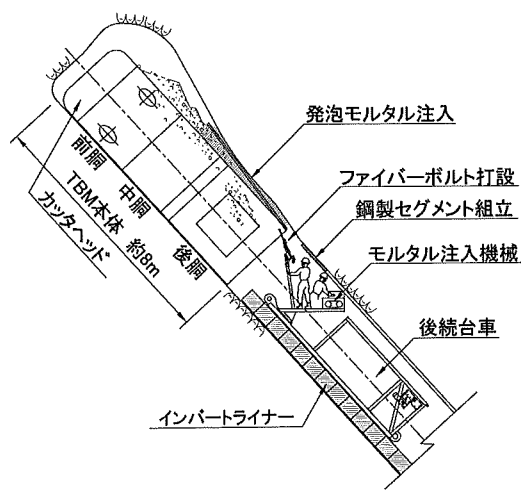


図-4 弱層部通過時の施工状況図(パイロットTBM)

設により地山の滑落を防止するとともに、鋼製セグメントによる坑壁補強などを行うことで、パイロットTBMを通過させた³⁾。図-4に施工状況図を示す。導坑掘削中はTBMの弱層部通過を主目的とし、本格的な補強対策は導坑貫通後に実施することとした。

6-2 導坑貫通後の対策

1本目である2号の拡幅掘削時に弱層部において、掘削ずりなどの落下による側壁や底盤の剝削とそれに起因するアーチ部の崩落が発生した。そこで、2本目である1号では、掘削ずりなどの落下衝撃に耐え得る導坑壁面であること、拡幅掘削時に切羽周辺地山および壁面が自立安定することを満足させるために、①注入改良(範囲：拡幅掘削径の0.5D、材料：超微粒子セメント系)、②ロックボルト(1断面16本、1.0mピッチ)、③覆工コンクリート(厚さ25cm)を補強対策として行うこととした。補強対策断面図を図-5に示す。

掘削ずりなどの落下衝撃力に対する導坑壁面補強対策の設計においては、3次元個別要素法解析を用いた落石シミュレーションにより得た落下衝撃力を外力として用いた。最大落下衝撃力により覆工コンクリートに発生する応力を覆工コンクリートと周辺岩盤をモデル化した3次元有限要素法解析により算出して、コンクリート厚さを25cmに決定し、TBMで切削可能なアラミドロッドを配

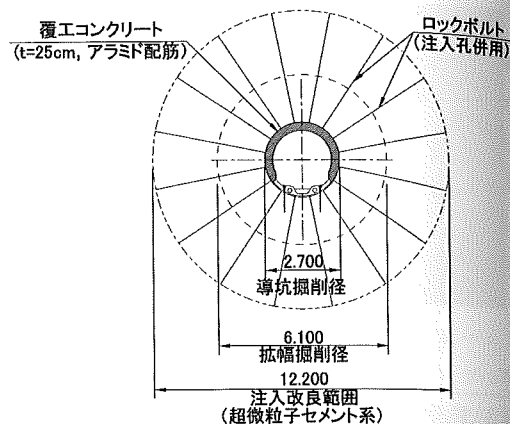


図-5 導坑貫通後の補強対策断面図

筋することで安全性を向上させた。

拡幅掘削前の弱層部の自立安定性の確保については、注入改良、ロックボルト、覆工コンクリートをモデル化した2次元有限要素法解析により、その効果を確認した。

施工順序は、注入圧力による壁面のはらみ出し防止や注入工の確実性を考慮して、覆工コンクリートを構築し、その後、注入改良を最大圧力1.0MPaで実施した。なお、ロックボルト頭部に掘削ずりが衝突すると、地山を緩ませる原因となることから、頭部を覆工コンクリートから突出させないように処理した。

6-3 拡幅坑掘削時の対策

拡幅掘削時のずり落下に伴う弱層部への影響を監視するため、導坑内に監視カメラおよびコンクリート応力計を設置した。監視カメラは、弱層部上流に照明とともに設置し、モニターによる目視にて導坑壁面の損傷状況を確認した。また、コンクリート応力計は、弱層部中心部とその周辺の地質境界部の3断面(天地左右4測点/断面)に設置し、上記の覆工コンクリート打設時に埋設した。4測点のうち天端・側壁部の応力計で導坑の安定性を把握し、インバート部・側壁部で、覆工コンクリートの破損状況を監視した。

実施工では、掘削ずりによる導坑壁面の損傷が多少あったものの、応力計が反応するような損傷は見られなかった。リーミングTBM通過時は、注入改良の効果により大規模な崩落などはなく、

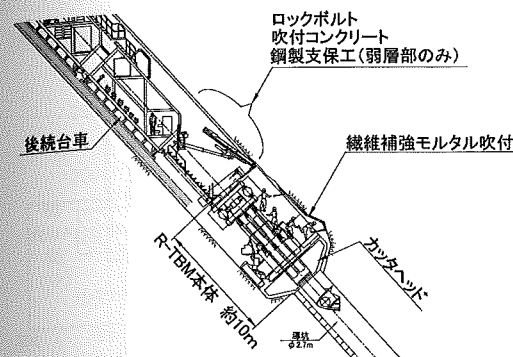


図-6 弱層部通過時の施工状況図(リーミングTBM) TBM本体内での小崩落や肌落ちが生じたものの、図-6に示すように、手作業による繊維補強モルタル吹付けおよびコンクリート吹付けを行うことで、弱層部を通過することができた。

7 施工実績

7-1 掘進実績

掘進計画は、地質調査結果をもとに算出した掘削時間や他地点の実績を参考に、掘進1サイクルあたりの時間を設定し、後続設備を順次TBM本体につなぎ込む初期掘進期間の1か月を加えて、導坑掘削を約9か月、拡幅掘削を約10か月とした。

掘進実績は、図-7に示すように、導坑ではほぼ計画どおりであり、拡幅坑においては計画を上回る結果となった。なお、弱層部周辺では、導坑・拡幅坑ともに、地山の崩落を抑制する目的で、掘進速度を抑え、かつ補助工法を併用したことから、進捗は伸びていない。

導坑では、表-3の掘進実績に示すとおり、2本目である1号の進捗が良い結果となった。これは、機械関係の改善(制御装置の振動防止対策、掘削ずりシュートの構造変更、排水設備の増強など)や作業員の習熟度向上によるものである。

拡幅坑では、弱層部に達するまでは1号の進捗が良かったが、弱層部において2号より1号の方が時間を要した。これは、弱層部対策として覆工コンクリートを施工したことによりTBMノーズグリッパのストローク径よりもトンネル内径が小さくなったため、ノーズグリッパを取り外し、メイングリッパのみによる掘進になったことによる。

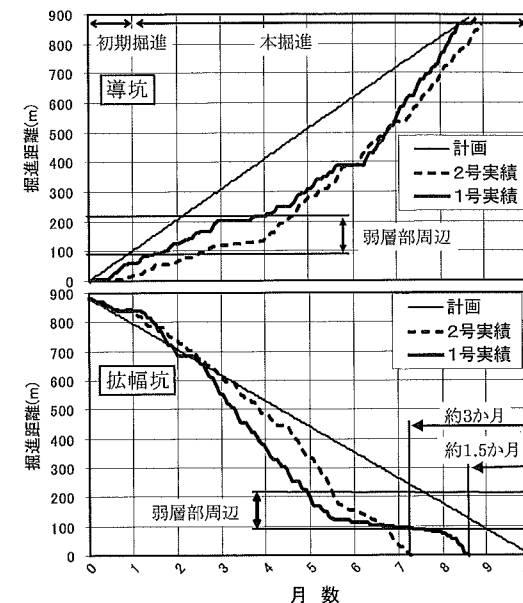


図-7 掘進実績

表-3 日進および月進実績

(単位：m)

		導坑			拡幅坑		
		計画	実績		計画	実績	
			2号	1号		2号	1号
日進	平均	4.8	4.4	5.6	3.8	5.0	4.6
	最大	-	9.6	12.0	-	13.5	12.0
月進	平均	110.0	101.2	128.7	90.0	115.8	104.8
	最大	-	180.0	193.2	-	186.5	178.5

7-2 支保工

TBMによる掘削時の支保工区分は、ルート上の調査坑で実施した岩盤試験をもとに、表-4に示すとおり岩級区分に応じてI~III種を計画した。拡幅坑での弱層部周辺においては、トンネル空洞の安定性を確保するために、補強鉄筋と鋼製支保工(1.0mピッチ)を追加した。支保坑区分の比率は、I種(C_H級)を70%、II種(C_M級)を25%、III種(C_L級)を5%と設定した。

支保工区分の実績割合は、図-8に示すように導坑ではほぼ計画どおりであったが、拡幅坑では、2号、1号ともにI種が減少し、III種が増大する傾向となった。これは、同じ岩級でも掘削径が大きくなると地山の不安定さが増すことから、支保グレードを上げたためである。

表-4 支保工仕様

	I種	II種	III種	IV種 (弱層部)
導坑				
繊維補強 モルタル厚	2 cm	4 cm	4 cm	
坑			セグメント +裏込め注入	
鋼製セグメント	—	—		
吹付け コンクリート厚	8 cm	14cm	20cm	
拡幅坑				
ロックボルト (長さ, 本数)	2 m × 8本	3 m × 10本	4 m × 12本	
鋼製支保工			H-125 × 125	
補強鉄筋			D13@200	

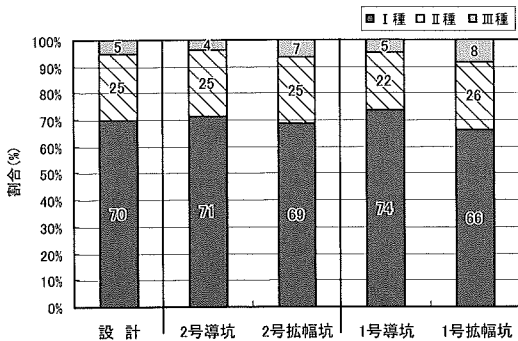


図-8 支保工区分実績

7-3 サイクルタイム

導坑・拡幅坑のサイクルタイムを計画と実績で比較したグラフを図-9に示す。

導坑掘削において、滑落防止設備延伸に要する時間が計画の115分から86分に短縮された。これは、滑落防止対策を反力鋼材からインバートライナに変更したことによる。

拡幅坑では、導坑と比べ掘削径が大きく鉄管据付けおよびコンクリート充填までの長期安定性を確保する必要があることから、支保工に要する時間が、計画と実績ともに大半を占めた。

支保工に要する時間は、計画245分に対して実績が136分と大きく減少している。これは、支保工のうちロックボルト打設とコンクリート吹付けを掘削作業と並行させることで作業効率を向上させたためである。

両坑に共通するその他の項目は、準備・休憩・補助工法に加えて、機械関係の点検修理やTBM

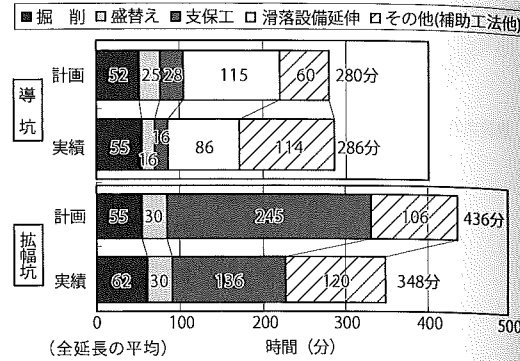


図-9 サイクルタイム実績

表-5 カッタ交換時間実績

(単位: 時間)

	2号		1号		2号と1号の差	平均1個あたり
	総時間	1個あたり	総時間	1個あたり		
導坑	394.8	4.0	312.6	3.5	▲0.5	3.7
拡幅坑	395.6	2.4	261.0	1.4	▲1.0	1.9

のカッタ交換がある。

TBMのカッタ交換に要した時間は、表-5に示すとおり、1個あたり導坑で平均3.7時間、拡幅坑で平均1.9時間であった。これは、カッタ1つの質量は導坑用で88kg、拡幅用で170kgと拡幅用の方が重い、カッタ交換作業における施工場所の広さや使用工具の違いによって、拡幅用カッタの交換時間が短くなったためである。全体としては、2本目の1号において作業員の習熟度向上により、平均0.5~1.0時間の短縮が図れた。

7-4 TBMのカッタ交換

TBMによる掘削は、掘削時間がカッタの摩耗量に比例し、摩耗を放置しておく掘削効率が低下するため、摩耗量を管理することが重要となる。カッタ交換の目安は、摩耗量がパイロットTBM用で15mm、リーミングTBM用で20mmを基準とした。

パイロットTBMは、1サイクルで1.2mを掘進し、1日に4サイクル進む計画である。図-10は、カッタ交換による掘削時間短縮の例を示したものである。摩耗が進化した交換前は1サイクルあたりの掘削時間が平均130分であったが、交換後は平均70分となり60分の短縮が図れた。カッタ交換

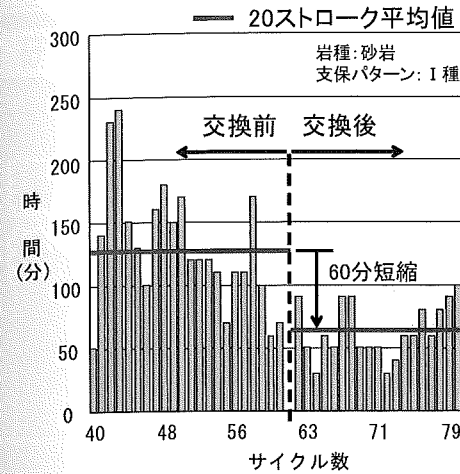


図-10 カッタ交換による掘削時間短縮

には時間と費用を要するが、工事の進捗を考慮すれば早めの交換が得策となる。

TBMのカッタは、導坑用で22個、拡幅用で31個装備している。耐摩耗性に優れたSKD鋼を材質とするパイロットTBMのカッタは、延長888.7mの掘進に平均95個を交換した。カッタ1個あたりの平均回転距離(カッタ取付け位置での円周長×カッタヘッド回転数)は約330kmであり、1個あたりの掘削量に換算すると約43m³となる。また、高強度かつ靱性の高いSNM鋼を材質とするリーミングTBMのカッタは、延長888.7mの掘

進に平均176個を交換した。カッタ1個あたりの平均回転距離は約377kmであり、1個あたりの掘削量に換算すると約103m³となる。カッタ1個あたりの平均回転距離は両者ほぼ等しいが、カッタの大きさやTBMの掘進能力などの違いから、平均掘削量は拡幅坑が導坑の約2倍という結果となった。

8 おわりに

水圧管路上部斜坑は、掘削完了後、鉄管据付けおよび鉄管周辺の充填コンクリート工事を実施し、2号が平成19年7月、1号が平成22年7月に運用を開始している。

最後に、本工事の施工に際して、ご指導、ご協力をいただいた関係各位に感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 田中征夫：小丸川発電所の計画と調査設計，電力土木，No.282，pp.29-33，1999,7.
- 2) 柏木雄二・園田利美津・池田博嗣：TBMによる水圧管路急勾配部の導坑掘削，電力土木，No.303，pp.40-44，2003.1.
- 3) 長崎義美・池田博嗣・小柳晋太郎：TBMによる水圧管路急勾配部掘削の計画と実績，電力土木，No.336，pp.16-21，2008.7.

ユニークな手法を駆使!! 建設災害を考慮してまとめた地質学書の決定版!!

建設工事の
保安地質学
(改訂版)
石井康夫 著
土木工学社

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

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

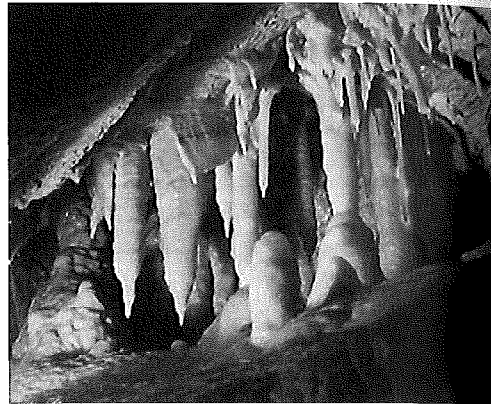
株式
会社 **土木工学社**

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



「自然豊かな遠州の奥座敷」引佐町より

酒井 康至



竜ヶ岩洞

現在建設が進む新東名高速道路は、静岡県内では、三ヶ日JCT(仮称)から御殿場JCT(仮称)の区間で、平成24年度の開通予定を目指して急ピッチで工事が進められている。

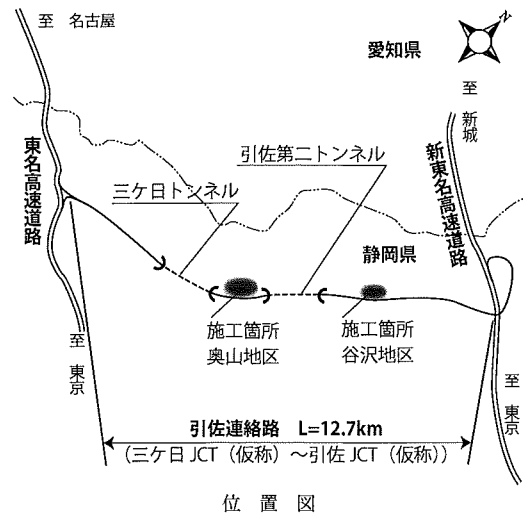
当現場がある浜松市は、平成17年7月に3市8町1村が合併し、東西の幅約52km、南北の幅約73kmと広大で、天竜川や浜名湖、北部の山々など豊かで美しい自然環境の魅力があふれる都市となった。その浜松市北区の新東名高速道路引佐JCT(仮称)から三ヶ日JCT(仮称)を結ぶ引佐連絡路のほぼ中央に当現場が位置する。

現場周辺は、浜名湖北方の引佐山地と呼ばれる比較的低くならかな山地であり、付近の標高は100~200mである。

また、現場より北西約1.5kmには富幕山(標高563.2m)が、南西約2kmには尉ヶ峰(標高423.9m)がならかにそびえ、手軽なハイキングコースとして自然愛好者達を楽しませてくれる。

なお、現場付近の地質構造は輝緑岩や凝灰岩などからなる御荷鉢帯と石灰岩やチャートなどからなる秩父帯とを画する構造線が存在し、斜面崩壊や地すべりなど多くの地質工学的問題を抱えている場所でもある。

さて、現場の東方約4kmに位置する竜ヶ石山の南



麓には、古くから、夕暮れにコウモリが飛び出してくる洞窟があり、地元の子供たちの探検遊びの場となっていた。その洞窟の一番奥には幅50cm、高さ10cmほどの小さな隙間があり、さらにその奥には空洞が存在するようであった。その後、昭和56年に地主の手によって、鍾乳洞の存在が確認され、現在では、東海地方最大級の観光鍾乳洞「竜ヶ岩洞」として一般公開され、数多くの観光客が訪れている。洞内は1年中18℃に保たれており、夏は涼しく、冬は暖かい。また、夏には足湯ならぬ足水場もあるので是非一度立ち寄ってはいかがだろうか。

現在工事中の富幕地区のり面補強工事では、長大のり面における動態観測により、斜面の変位やグラウンドアンカー軸力が設計値を超過するなどの地すべりの兆候が認められたため、将来的な道路の安全確保のための地すべり対策工として、グラウンドアンカーの追加施工および地下水位の低下を目的とした排水トンネルの施工を行っている。排水トンネルは断面積約15m²、延長約297mである。

現在は、排水トンネルの施工を完了し、坑内より水抜きボーリングの施工を行っている。

今後ものり面の動向を注意深く観測し、無事故・無災害で竣工を迎えられるよう努力していきたいと考えている。

((株)鴻池組富幕地区のり面補強工事所長)

研究

覆工の初期ひび割れの発生メカニズムとその抑制対策

(元)鉄道・運輸機構理事 高山 博文
鉄道・運輸機構東京支社計画部調査第二課担当係長 増田 康男

1 はじめに

現在、全国に広がる整備新幹線のトンネルは、主に山岳トンネルの標準工法であるNATMで構築されている。この工法では、覆工コンクリートは地山の変位が収束した後に、延長10.5mまたは12mの移動式セトルを用い、全断面を一度に打設し構築されている。しかしながら、完成後トンネル天端付近において軸方向に伸びるひび割れがしばしば確認されている。このひび割れの発生パターンは地圧によるものと類似しているため、維持管理段階におけるトンネルの健全度評価を困難なものとしている。

そこで、現在の覆工コンクリートで発生しているひび割れを抑制する設計・施工方法を確立するための試験・研究を行った²⁾。

本稿では、実際の施工・坑内環境を模擬した新幹線断面1/4スケールの覆工コンクリートの模型試験と東北新幹線で供用される実トンネルの覆工コンクリートを対象に現地計測を行った。その結果、現在のひび割れ発生要因のひとつとして、吹付けコンクリートに接する側(以下、「地山側」と記す)に比べて大気

記す)の覆工コンクリートがより乾燥・放熱することによる不均一な収縮によってひび割れが発生していることを確認した。さらに、この現象をコンクリート断面内の乾燥収縮の不均一性を考慮した数値解析により再現することを試みる。

2 模型試験

まず、現在の覆工コンクリートで発生するひび割れのメカニズムについての検討および覆工コンクリート内空側の乾燥・放熱による影響の抽出を行うため、実際の施工・坑内環境を模擬した覆工コンクリートの模型試験を実施した。

2-1 試験体・試験方法

試験には新幹線標準断面の1/4スケールの試験

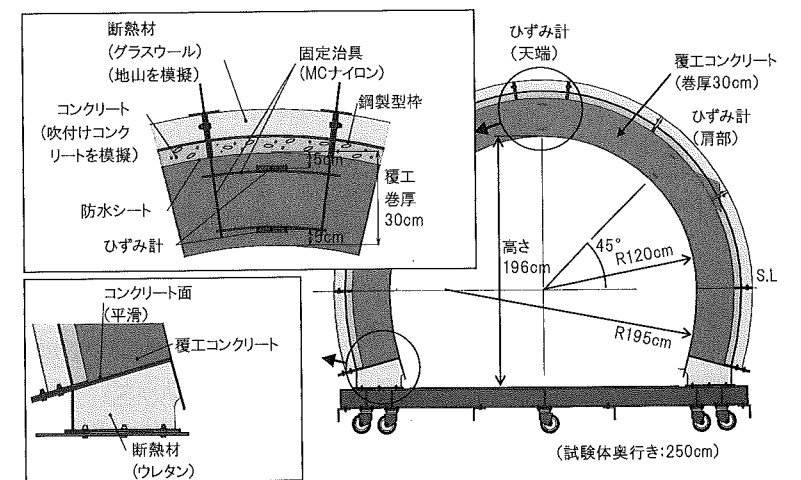


図-1 試験体概要図

体を使用した。図-1に試験体の概要を示す。

地山を模擬した外型枠には、内面側に吹付けコンクリートを模擬したコンクリートと防水シート(材質: EVA, 厚さ: 0.8mm)を施した。このとき、実トンネルにおける覆工コンクリート地山側の凹凸を模擬するため、外型枠の内面側に縦100mm, 横100mm, 厚さ25mmの凹凸を設けた。また、外面側には断熱材(グラスウール)を施して完全断熱状態とした。脚部底面の内面側は平滑で拘束のない状態とし、外面側には平均厚さ約17cmの断熱材(ウレタン)を施した。

コンクリート打設後の硬化、内空側の型枠(内型枠)の脱型、養生の各過程におけるコンクリート内部のひずみ・温度を測定するため、図-1に示すようにトンネル周方向天端・肩部・脚部において、地山側表面、内空側表面からそれぞれ深さ5cmの位置にひずみと温度を同時に測定できるひずみ計を設置した。

なお、養生室内は気温・湿度を一定に保ち、打設後50~70日の間、養生を行った。

2-2 試験ケース

整備新幹線の標準的な施工、坑内環境を調査して、試験ケースを表-1のように設定し、乾燥・放熱の影響を調べることにした。

2-3 試験結果

2-3-1 標準ケース(Case 1)

図-2は、コンクリート打設から70日後までの天端部の内空側・地山側のコンクリート温度およびコンクリート内部ひずみの計測結果を示したものである。なお、計測結果はコンクリートの凝結開始時間である打設完了8.5時間後(コンクリートの凝結時間試験法(JIS A 1147)による)からのコンクリート温度、ひずみ値である。

天端部では初期(打設1~2日後)にひずみは膨張側に変化し、その後収縮側に变化する傾向がある。この傾向は、肩部でも同様であった。この膨張挙動はセメントの水和反応によってコンクリー

表-1 試験ケース

Case	坑内気温(°C)	坑内風速(m/s)	坑内湿度(%)	脱型時間(hr)	打設時のコンクリート温度(°C)	防水シート	備考
1	15	1	60	18	15	有	標準ケース
2			50	乾燥の影響			
3			60	12	乾燥・放熱の影響		
4			18	25	放熱の影響		

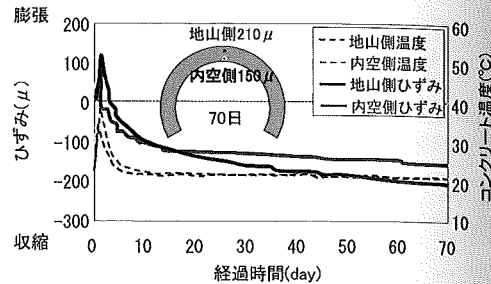


図-2 ひずみの経時変化(標準ケース(Case 1), 天端部) ト内部温度が上昇するためである。その後、時間経過とともにひずみは収縮側に増加し、70日後においてもひずみは収束していない。これは、湿度が長期にわたり変化するため、温度が一定になってもコンクリートは収縮を続けていると考えられる。

トンネルは両脚部のみが支持される形状であるため、外部からの拘束や不均一なコンクリート内部の温度・湿度の変化により収縮が不均一とならない限り、コンクリートは自由に変形することができる。この場合には、コンクリートは拘束のない状態でのひずみに限りなく近い収縮となるため、コンクリートの内部応力は蓄積されず、ひび割れは発生しにくい状態になると考えられる。

2-3-2 その他のケース(Case 2~4)

坑内環境・施工条件を変えたCase 2~4のひずみの変化について、天端部のコンクリート内部のひずみ分布に着目し、標準ケースとの差異を比較した。その結果、坑内湿度を低下させた場合、打設時のコンクリート温度を上昇させた場合には、内空側の収縮ひずみが地山側に比べ大きくなった。よって、コンクリート内部の温度・湿度の変化が大きい場合には、内空側の収縮ひずみが急激に増大し、ひび割れを発生させやすい状態になることが確認できた。

3 現地計測

実トンネルにおいて、夏期と冬期打設の覆工コンクリート表面部のひび割れの発生状況調査、覆工コンクリートの内部と表面のひずみ、覆工コンクリート内部の温度および坑内温度、坑内湿度の測定を2年間にわたり実施した。

3-1 計測位置・計測方法

計測箇所は、東北新幹線八甲田トンネル内で、坑内の環境条件と施工時期の異なる夏期(平成17年8月)に打設した覆工コンクリート(以後、「夏期施工」という)と冬期(平成18年2月)に打設した覆工コンクリート(以後、「冬期施工」という)の2か所とした。なお、計測箇所の地山は、トンネル掘削後の内空変位測定で変位の収束が確認されている良好な地山条件の箇所、覆工コンクリートは設計巻き厚30cm、スパン長10.5mである。また、支保パターンは、吹付けコンクリート厚10cm、ロックボルト長2mを上半に8本配置している。

図-3および表-2に覆工コンクリート1スパンあたりの計測器の配置、計測項目、計測部位などを示す。覆工コンクリート内部に埋設した計器類は打設時から計測し、覆工コンクリート表面のひずみゲージおよび温度計と湿度計は打設3日後までに設置した。なお、埋設した計器類の設置にあたっては、計測結果に取付け金具の剛性の影響が出ないような材料を利用している。

3-2 施工条件

表-3に施工条件を示す。夏期施工、冬期施工ともに覆工コンクリートの施工工程は同一とし、脱

表-3 施工条件

	夏期施工	冬期施工
覆工打設月	8月	2月
脱型時間	打設完了15時間後	
背面シート	アイソレーションシート	防水シート
コンクリート配合	C=278kg/m ³ , W=162kg/m ³ , W/C=58.2%(示方配合)	
坑内温度	29°C	16°C
練混ぜ水	常温水	温水

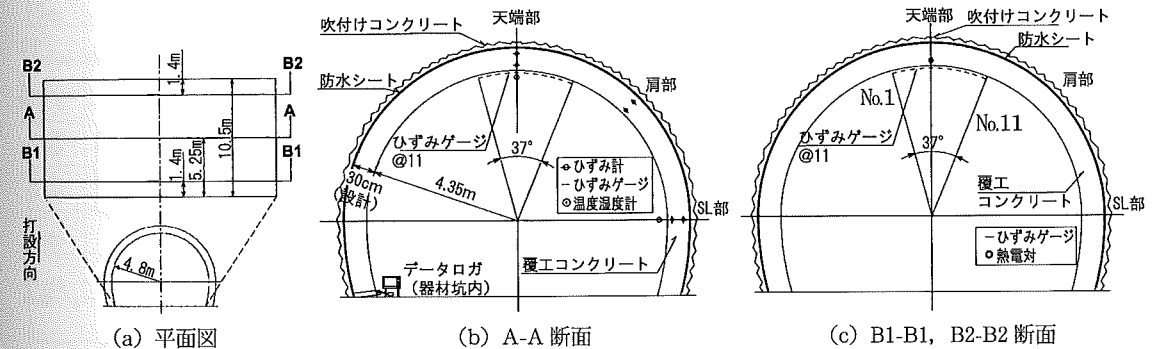


図-3 計測器の配置

表-2 計測項目と部位

対象	計測項目	計測機器	部位		測定点数(施工箇所あたり)
			箇所	断面	
覆工コンクリート	内部ひずみ	ひずみ計	天端部, 肩部 SL部の内外周	A-A	6か所
	内部温度	温度計			
	内部温度	熱電対	天端部	B1-B1, B2-B2	2か所
	ひび割れ発生時期	ひずみゲージ	天端部の内空側表面	A-A, B1-B1, B2-B2	33か所(3×11)
	ひび割れ幅	クラックゲージ		全周	
ひび割れ深さ	超音波法				
坑内環境	温度	温湿度計	天端部, SL部の内空側表面	A-A	2か所

型時間は打設完了15時間後である。打設時の坑内温度は、夏期施工では29℃、冬期施工では16℃でその差は13℃である。コンクリートの練り上がり温度は、夏期、冬期とも30℃前後であった。

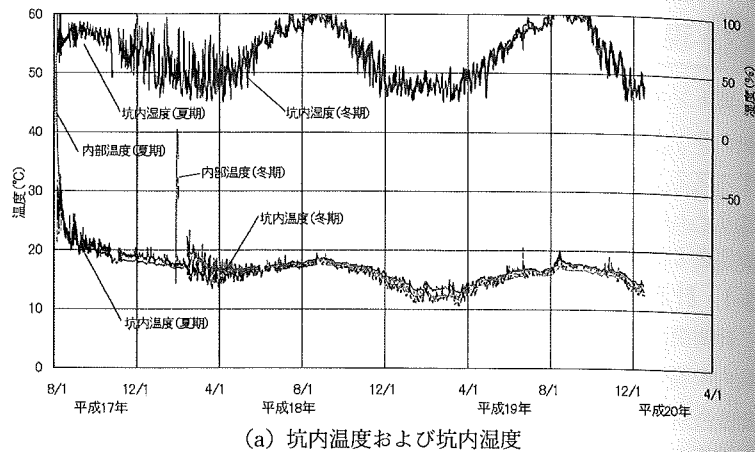
3-3 計測結果

3-3-1 覆工コンクリートの内部ひずみ

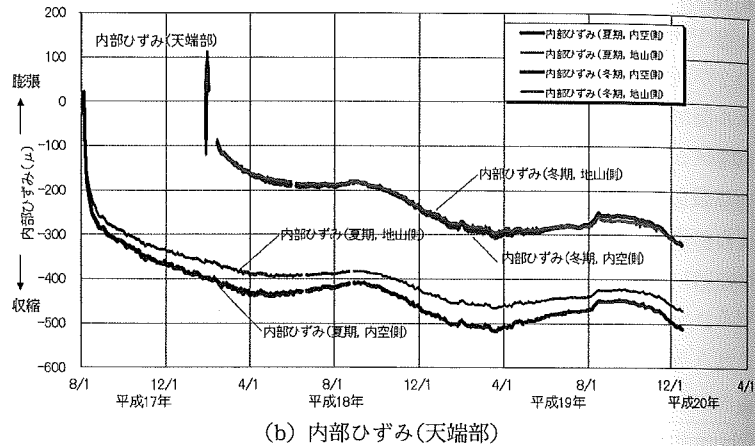
図-4に覆工コンクリートの天端部と肩部の夏期施工、冬期施工の内部ひずみ、コンクリート内部温度、坑内温度、坑内湿度の経時変化を示す。

コンクリートの内部ひずみの変動は、夏期施工、冬期施工ともにコンクリート打設後、コンクリート内部温度の上昇に伴い、膨張側に急激に増加し、その後コンクリート内部温度の下降に伴い、収縮側に変化し、収縮ひずみが増加した。コンクリート打設1か月後以降は、コンクリート内部温度と坑内温度でほぼ同じ値となり、内部ひずみは坑内温度と同様な傾向で周期的な増減をしながら収縮ひずみが増加した。しかし、その増加量は初期に比べて小さいものとなっている。

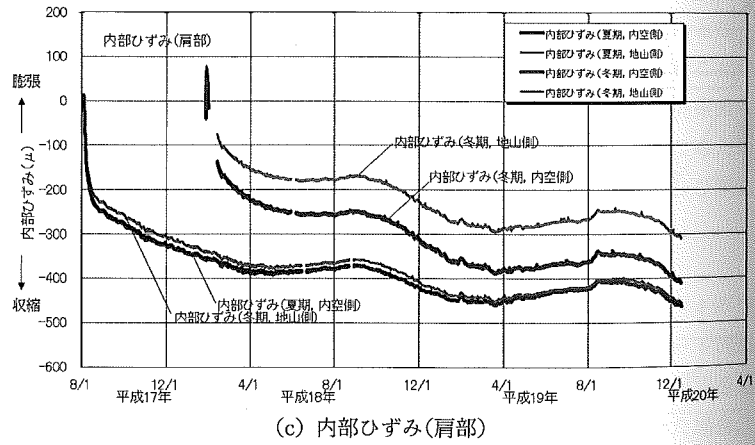
内部ひずみの推移を夏期施工と冬期施工とで比較すると、打設時の膨張側へのひずみは夏期施工では天端部で20μ程度、冬期施工では肩部で110μ程度となり冬期施工の方が大きい。収縮ひずみは、天端部での最終計測値では夏期施工の方が冬期施工に比べ約150~200μ大きく、肩部では50~150μ大きな値を示している。



(a) 坑内温度および坑内湿度



(b) 内部ひずみ(天端部)



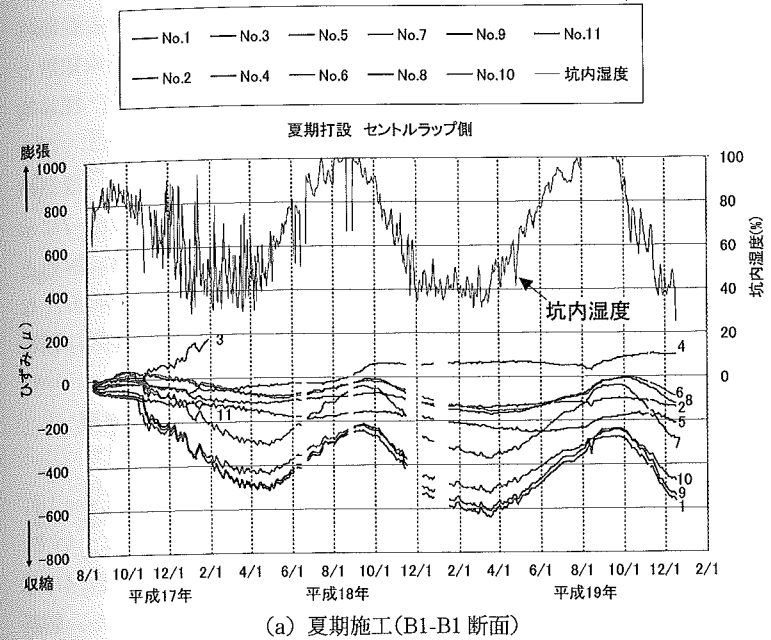
(c) 内部ひずみ(肩部)

図-4 内部ひずみの推移

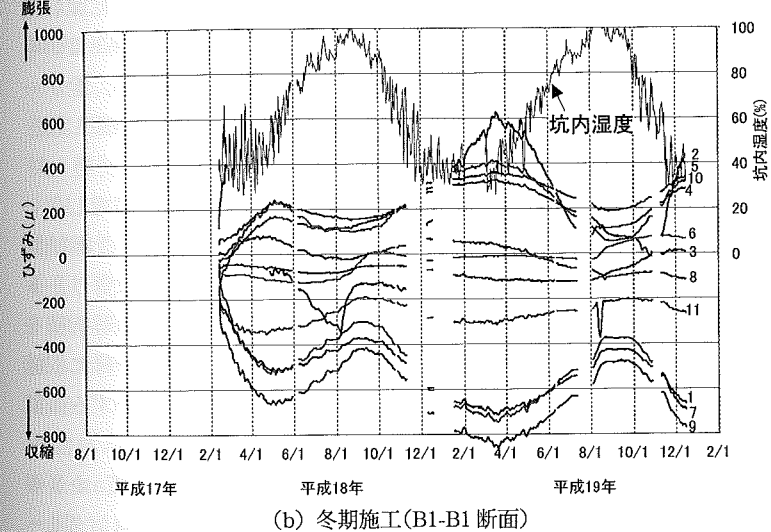
3-3-2 ひび割れ発生状況

図-5に覆工コンクリートの表面ひずみと坑内湿度の経時変化、図-6にひび割れ展開図を示す。

図-5より夏期施工および冬期施工の覆工コンクリートの表面ひずみの傾向は以下のとおりである。

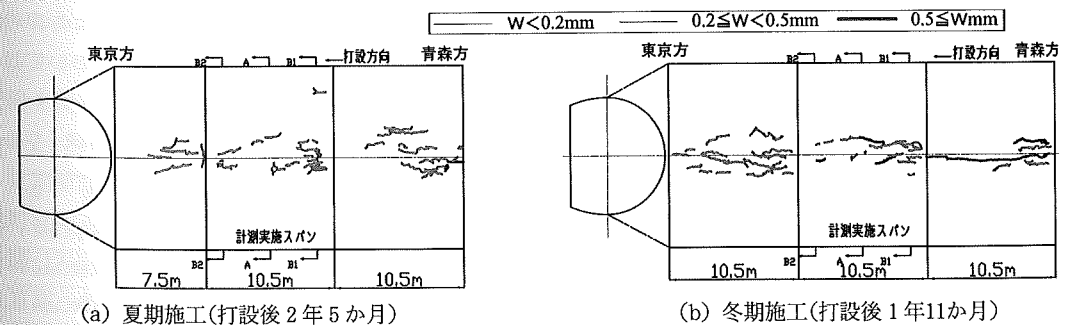


(a) 夏期施工(B1-B1断面)



(b) 冬期施工(B1-B1断面)

図-5 表面ひずみと坑内湿度の関係



(a) 夏期施工(打設後2年5か月)

(b) 冬期施工(打設後1年11か月)

図-6 ひび割れ展開図

る。夏期施工では、平成17年8月に打設後、坑内湿度が低下した秋頃(打設後3か月経過時)からひずみの変動が大きくなり、各年3~4月に最大収縮ひずみを持つ周期的な変化をし、最大ひずみは約600μとなった。各部位の多くは収縮側に推移しているが、一部は膨張側に推移したのものもある。一方、冬期施工は平成18年2月に打設後、直後からひずみは膨張側、収縮側に变化する部位が明確に分かれ、各年3~5月に最大ひずみを持つ周期的な変化をし、最大ひずみも夏期打設に比較して大きく、約800μを超えている。図-4,5に示したコンクリート内部(内空側表面より10cm)の内空側ひずみと比較すると夏期施工は約100μ大きく、冬期施工では約500μとその差が大きくなっている。

ひび割れの発生範囲をみると、夏期施工、冬期施工ともに天端部に集中し、かつ、既設側の覆工コンクリートに接する側でひび割れが多くみられた。ひび割れ幅は、夏期打設箇所では0.1mm未満で狭かつ長さも短いも

のが点在しているのに対し、冬期打設箇所では夏期打設箇所と比べ幅が大きく(0.2mm程度)かつ長いものがみられた。

ひび割れ深さは、夏期施工が20~130mm程度であるのに対し、冬期施工では、30~200mm程度と夏期施工に比べて深いことがわかる。ただし、実際の覆工コンクリートの巻き厚が500~600mmであることから、これらのひび割れは覆工コンクリートを貫通していないものと判断される。

4 数値解析

模型試験および現地計測によって抽出された覆工コンクリート内空側の乾燥・放熱の影響が、ひび割れ発生にどの程度影響するかを定量的に確認すること、およびコンクリート内部の乾燥収縮ひずみの予測手法を検証することを目的に、数値解析を実施した。

4-1 予測手法

トンネルの覆工コンクリートは薄肉構造であることから、これまでは乾燥収縮の不均一性を考慮する必要がないとされてきた。しかしながら、模型試験の結果から坑内湿度の影響によるコンクリート表面のひび割れの発生が認められたように、地山側と内空側の乾燥に関する境界条件が極端に異なるため、覆工コンクリートのような薄肉構造の場合でも、コンクリート断面内の乾燥収縮の不均一性を考慮した解析を行うことが望ましいと考えた。ところで、コンクリートの乾燥収縮に関する断面内の不均一性を考慮する方法としては、籠橋ら³⁾、堀部ら⁴⁾、小澤ら⁵⁾の研究がある。この手法

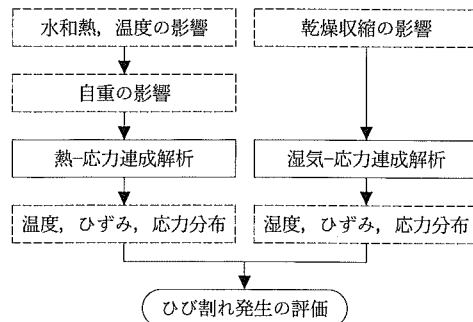


図-7 湿気移動を考慮した評価法

は、コンクリート中の水分移動を見かけの湿気移動と仮定し、コンクリート中の蒸気圧を未知数とする支配方程式を定式化したものであり、理論的かつ比較的簡便な方法である⁶⁾。ここでは、この手法を取り入れることとした。具体的に、湿気移動を用いたひび割れ発生の評価の流れは図-7に示すとおりである。なお、この熱-応力連成解析と湿気-応力連成解析によるひずみ、応力解析、ならびにひび割れ発生の評価までを、「湿気移動を考慮した評価法」と称する。

4-2 模型試験の解析ケースと解析結果

4-2-1 解析ケース

表-1で示した模型試験の標準ケース(Case 1)、坑内湿度を低下させたケース(Case 2)について、乾燥収縮量の予測手法の検証のために、表-4に示したケーススタディを実施することとした。解析ケースとしては、Case IとCase IIから乾燥収縮の予測手法による影響を、Case IIとCase IIIから坑内湿度の影響を、各々評価した。なお、全ケースで、水和熱による温度膨張、収縮を考慮した。

4-2-2 解析結果

まず、従前の乾燥収縮の不均一性を考慮しない解析手法を用いたCase Iの材齢70日の予測結果を考察する。模型試験時の天端部のコンクリートの周方向ひずみ値(表-1 Case 1)とその解析値を図-8に示す。覆工コンクリート全体が様に収縮する変形となり、コンクリートの内部ひずみは試験値よりもかなり大きい値となる。

また、湿気移動を考慮した評価法でCase IIの結果を考察する。模型試験時の天端部のコンクリートひずみ値(表-1 Case 1)と解析値を図-9に示す。模型試験時のひずみに近い挙動を示したものの、内空側と地山側のひずみ差は、解析においてはほとんど発生しなかった。

表-4 解析ケース

Case	乾燥収縮	坑内湿度	備考
I	断面内で均一に収縮	60%	試験Case 1
II	断面内で不均一	60%	試験Case 1
III	(湿気-応力連成解析)	50%	試験Case 2

※いずれのCaseも防水シートあり、温度収縮を考慮している。

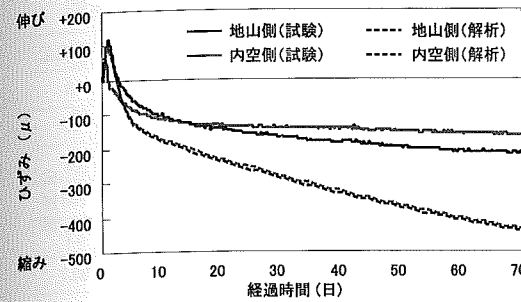


図-8 天端部内部ひずみ(模型試験Case 1, 解析Case I)

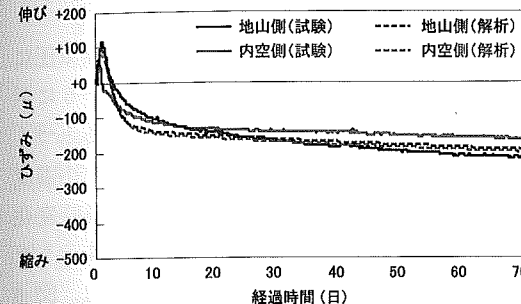


図-9 天端部内部ひずみ(模型試験Case 1, 解析Case II)

また、坑内湿度の違いによる影響のため、坑内湿度を低くしたCase IIIにおいても解析Case II同様、模型試験時のひずみに近い挙動を示した。

以上から、今回用いた湿気移動を考慮した評価法はおおむね模型試験を表現できたと考えられる。

4-3 現地計測の解析ケースと解析結果

模型試験で試験結果を表現できた湿気移動を考慮した評価法が現地計測で行われた夏期施工、冬期施工における覆工コンクリート内部のひずみの挙動およびひび割れ発生を再現できるか検証する。

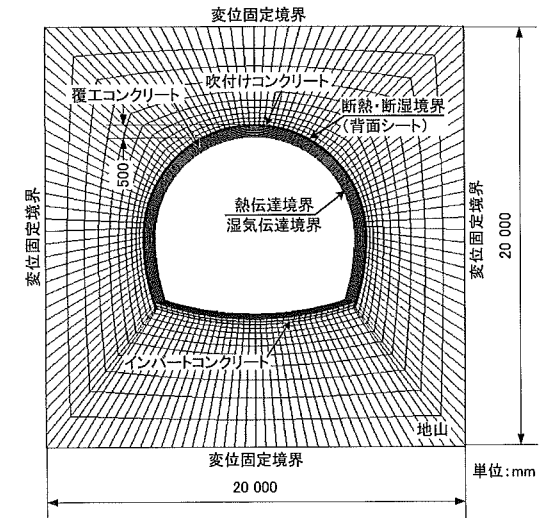
4-3-1 解析モデルと解析条件

図-10に解析モデルを示す。材料物性値、養生条件、環境条件については現地での施工記録、メーカーのカタログ値の材料物性値を用いた。また、トンネル天端部の坑内温度、坑内湿度は現地での記録を使用した。

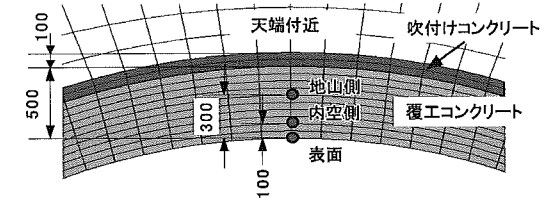
4-3-2 解析結果

夏期断面におけるひずみの計測値と解析結果の比較結果を図-11に、冬期断面の場合の解析結果を図-12に示す。

夏期、冬期いずれの断面においても、天端部のコンクリート内部の周方向ひずみについては、内



(a) 解析モデルの全体図



(b) 天端部の拡大図

図-10 解析モデル

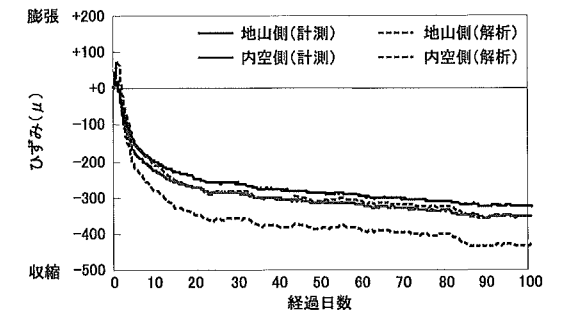


図-11 天端部内部ひずみ(夏期)

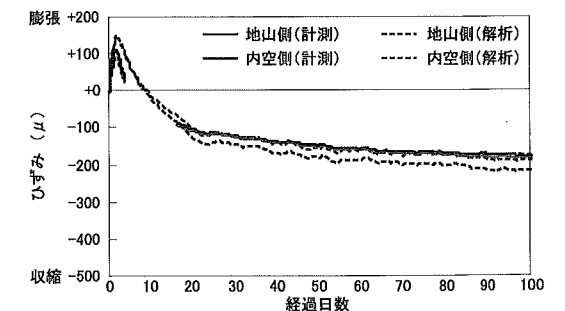


図-12 天端部内部ひずみ(冬期)

空側ひずみの解析結果が計測値と同様な傾向であった。一方、地山側ひずみについては、解析結果が計測値より30~100μ小さい結果となった。これは、解析がトンネル断面の二次元解析であり、隣接する既設の覆工コンクリートによる拘束状態が考慮されないため、覆工コンクリート天端部での自重による曲げモーメントの影響が実トンネルより大きく計算されたためと考えられる。合わせて、天端部に発生する周方向応力の解析結果とコンクリートに発生する引張強度の関係から推測されるひび割れ発生時期は、計測結果とおおむね一致していることもわかった。

5 ひび割れ抑制対策の提案

5-1 坑内環境と蒸気圧の関係

現地の計測および解析により、覆工コンクリート表面のひび割れは、コンクリートの温度変化とコンクリート面に接している坑内湿度と坑内湿度の変化を主たる要因とし、夏期施工(8月)箇所では急激な坑内湿度の低下時に、冬期施工(2月)箇所では坑内湿度の低下しているときのコンクリート温度の降下時に発生していることがわかった。また、発生しているひび割れの幅と深さについても図-7に示したように冬期施工のものが大きい結果となっている。

このコンクリート表面のひび割れは、コンクリート表面が内部よりも乾燥し、コンクリート内部の温度と乾燥収縮が不均一となるため起きているものである。このコンクリート表面の乾燥は、コンクリート表面と坑内環境(湿度・温度)の蒸気圧差が影響しているものと考えられる。そこで、この蒸気圧差による評価方法について検討する。蒸気圧の変化は温度と相対湿度をパラメータとして持ち、式(1)に示す関係で表されている^{3)~5),7),8)}。

$$P = RH \times 610.78 \times 10^{\frac{7.57}{T+237.3}} \quad (1)$$

ここで、 P :蒸気圧(Pa), T :温度(°C), RH :相対湿度(%)

表-5は夏期施工と冬期施工の解析によるひび割れ発生時に着目し、そのときのコンクリート温度

表-5 ひび割れ発生時の坑内環境と蒸気圧

		夏期施工	冬期施工
温度(°C)	坑内	18	18
	コンクリート	19	27
湿度(%)	坑内	50	42
	コンクリート	100	100
蒸気圧P(hPa) (式(1)による)	坑内 P_1	10.3	8.7
	コンクリート P_2	22.0	35.7
蒸気圧差 $P_2 - P_1$ (hPa)		11.7	27.0
(参考) 実測ひび割れ幅(mm)		0.05以下	0.2以上

と坑内環境(温度、湿度)、式(1)による蒸気圧について整理したものである。ここで、表-5に示したコンクリート温度は実測した結果にもとづく解析によるひび割れ発生時点のもので、坑内温度と湿度の値については、図-4に示した経時変化から解析によるひび割れ発生時点のものを示したものである。また、ひび割れ幅については、図-6に示した夏期施工での最終の観測値の約0.04~0.05mm、冬季施工の0.04~0.5mmから、頻度が多いひび割れ幅として夏期施工では0.04mm、冬期施工では0.2mmとした。

5-2 ひび割れ幅抑制手法

5-1節より、覆工コンクリートに発生するひび割れ幅の大小は蒸気圧差の大小と関係しているものと考えられる。5-1節の結果を踏まえて、蒸気圧を用いた坑内環境(坑内温度、坑内湿度)によるひび割れ幅抑制手法について示す。

ひび割れ幅を抑制するための蒸気圧差の値の設定については、表-5の結果から、その値を27hPa程度以下とするような坑内環境(坑内温度、坑内湿度)を保つことにより、幅0.2mm以上のひび割れの発生を抑制できることになる。整備新幹線では、一般に補修を要する初期ひび割れ幅を0.2mmとしている。これを制限値に設定すれば、蒸気圧差の管理値としては安全側を考慮した25hPa程度の値を用いることが適当であると考えられる。

この考え方を踏まえて、コンクリート温度と蒸気圧を用いたひび割れ抑制手法の例を示す。コンクリート温度を30°Cとし、コンクリート相対湿度が100%と仮定すると、このときの蒸気圧 P は式

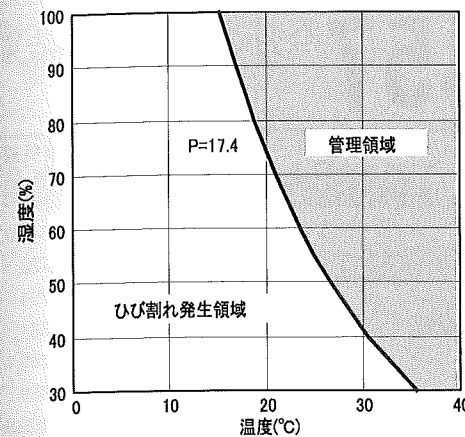


図-13 ひび割れ幅抑制管理図

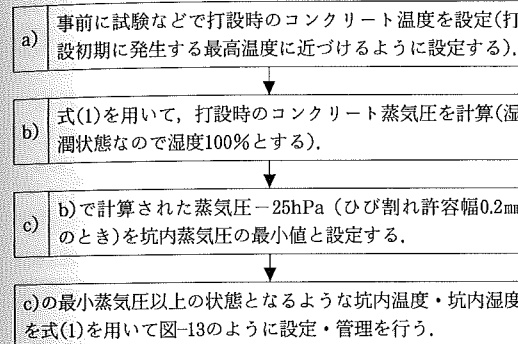


図-14 ひび割れ幅抑制手法のフロー

(1)より42.4hPaとなる。蒸気圧の管理値を25hPaとすると、コンクリート温度30°Cの場合のひび割れ幅抑制の蒸気圧は、 $42.4 - 25 = 17.4$ hPaとなり、式(1)から、この蒸気圧になる坑内温度、坑内湿度の組み合わせが設定できる。図-13はコンクリート温度30°Cの場合のひび割れ幅を0.2mm以下に抑制する坑内温度と坑内湿度の関係を示したものであり、図に示す管理領域に坑内環境(温度、湿度)を保つことによりひび割れの制御が行えることになる。図-14に抑制手法のフローを示す。ここで、フローの始めに設定するコンクリート温度の設定については、図-11, 12の計測、解析結果から打設初期に発生するひずみが大きいことから、これを少なくするために打設直後にコンクリートに発生する最高温度に近づけるようにし、これに合わせて坑内環境をコントロールすることによって、覆工コンクリート表面と坑内との間の蒸気圧差が小さくなるようにすることが重要である。

6 おわりに

本稿では、山岳トンネルの覆工コンクリートに発生するひび割れについて、模型試験と実際の鉄道トンネルによる計測を行い、その挙動を数値解析にて再現するための手法として「湿気移動を考慮した評価法」を提案した。また、計測結果および数値解析の結果から今回提案した評価法が従来の解析手法に比して精度が良く、実際のトンネルに対しても適用可能であることを示した。また、内部ひずみ・応力状態を解析で再現することで覆工コンクリート内部においてひび割れが発生する状況の予測が可能であり、ひび割れ発生時期や発生する深さまで解析可能であることを示した。今後は、この抑制方法を用いた覆工コンクリート養生を実施し、計測データを多数蓄積し、有効性を検証したうえで、施工監理にも適用したいと考えている。

参考文献

- 1) 鉄道総合技術研究所：鉄道構造物等維持管理標準・同解説(構造物編)トンネル, 2007.
- 2) 高山博文：トンネル覆工コンクリートの初期ひび割れ抑制に関する研究, 京都大学学位論文, 2009.
- 3) 籠橋忍・秦泳・小澤満津雄・森本博昭：温度との連成を考慮したコンクリートの湿気移動解析, コンクリート工学年次論文集, Vol.23, No.2, pp.685-690, 2001.
- 4) 堀部謙・森川友博・中村恭香・森本博昭：コンクリート中の水分移動解析手法について, コンクリート工学年次論文集, Vol.26, No.1, pp.603-608, 2004.
- 5) 小澤満津雄・中村恭香・永井拓太・森本博昭：コンクリートの乾燥収縮モデルに関する研究, コンクリート工学年次論文集, Vol.28, No.1, pp.533-538, 2006.
- 6) 日本コンクリート工学協会マスコンクリートソフト作成委員会：コンクリートの初期ひび割れおよびひび割れ進展の解析方法, p.26, 2003.11.
- 7) 白木博昭・速水昭正・田中栄治：トンネル二次覆工コンクリートのひび割れ制御対策に関する一考察, 土木学会年次学術講演会概要集V, pp.397-398, 1986.
- 8) 西岡栄香・原田有：コンクリートの透質率および湿気拡散について, セメント技術報告XV, pp.274-278, 1961.

土木情報 No.457

今月の主な入札結果
(5月10日～6月9日)

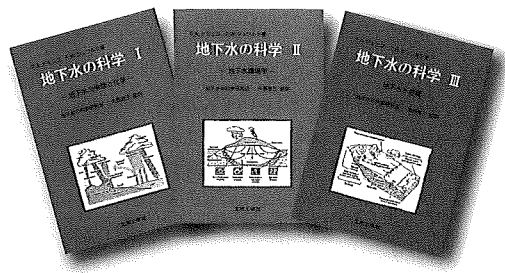
事業主体	工 事 名	請 負 会 社	請負額 単 位 百万円
中国地整	駒馳山BP駒馳山T	大本組	2,396.9
"	" 福部砂丘T	戸田建設	2,758
"	尾道・松江自動車道下本谷T	東急建設	894
都・下水道局	中央区銀座八丁目、港区東新橋一丁目付近整備	間・大豊・安藤JV	1,334
"	港区赤坂六丁目、六本木二丁目付近再構築	日本国土開発	260.7
"	第二溜池幹線及び勝どき幹線その2	間・大豊・安藤JV	4,880
都・水道局	東村山浄水場共同溝整備及び1,2急系沈でん水渠連絡管(2,000mm)設置	東洋・ニューテック康和JV	406.8
徳島県	基幹農道伊勢田2期地区(伊勢田T)	岡田・扇・赤松JV	480
東京都新都市建設公社	豊田排水区(公社23-1)	黒須建設	188.28
"	西平山地区区画道路築造第33号(その2)及び127-2 街区整地並びに浅川左岸第五処理分区(公社23-2)	三幸建設	127
酒々井町	ICアクセス道路整備(3B-012号線カルバート工)	ハマダ	187
大田区	都計道補助328号線整備その2(下水道)外1	木村・醍醐・南武JV	194
"	大田区田園調布三、四丁目付近枝線その6	佐々木・池上・栄伸JV	341
昭島市	昭島都市計画公共下水道東部2号幹線ほか1路線築造	飯田土建	196.4
横浜市	新杉田共同溝口径1100mm配水管分岐(発進立抗分岐)	岳南建興	137
"	神大寺線口径800mm配水管布設替	テクノジャパン	168.15
平塚市	松風町・久領堤貯留管築造その2	五洋・日本ビオトープJV	489.05

■ 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

最新推進工法

最新推進工法技術(2)

— 大口径管推進工法(1) —

「最新推進工法技術」連載講座小委員会

① はじめに

近代的な推進工法は、1895年ごろアメリカの北太平洋鉄道横断工事に採用されている。わが国では、1948年に国鉄尼崎臨港線の軌道下のガス管の横断工事に採用されていることは、第1回で述べたとおりである。アメリカと同様に軌道下での横断工事に採用されている。

翌年の1949年には、ヒューム管φ600mmを配水管用のさや管として使用して、阪神本線軌道下横断工事が施工されている。そして、1951年には推進管を本体構造物とした、排水管に推進工法が採用されている。

初期の推進工法は、ガス、水道、通信ケーブルなどのさや管を、軌道、水路、道路などを横断して埋設するための特殊な工法であったが、徐々に道路縦断方向の管の埋設にも使用されるようになり、推進延長を増大するために、1953年中押し工法が考案開発された。しかし、当時はまだ、推進ジャッキ、推進管の耐力などの問題で推進延長は30m程度であった。

1960年半ばまでの大口径管推進工法は刃口式推進工法であり、切羽地盤の安定のために、補助工法としてウェルポイント、ディープウェルなどの地下水位低下工法、薬液注入工法、圧気工法などの補助工法が必要とされていた。しかしながら、これらの補助工法は周辺地盤や地表構造物への影響が出たり、工事価格の高騰というデメリットが

あった。しかし、1964年には、フランスで開発された泥水工法を荒川左岸流域下水道工事の推進工事でシールド工事より先に採用された。その後は、シールド工法の技術を取り入れて安全性の高い密閉型の工法へと進展し、土圧式推進工法といった機械式推進工法が開発され、泥濃式推進工法を含む現在の密閉型推進工法が確立された。

本稿では、大口径管推進工法の、刃口式、泥水式、土圧式、泥濃式推進工法の各掘進方式についてその施工原理を解説する。

② 各工法の基本概念

大口径推進工法の各工法の基本概念を示す。

2-1 刃口式推進工法

刃口式推進工法は、推進管列の先端に刃口を装着し、立坑に設けた元押しジャッキの推進力により工場で作られた推進管を地中に圧入して管きよを構築する工法である(図-1)。本工法は切羽からの出水がなく、切羽の自立が条件となる。このため、切羽からの出水がある場合や切羽の安定が困難な場合は、地下水位低下工法や薬液注入工法などの補助工法が必要になる。一般にN値の低い軟弱な沖積粘性土層では、主に薬液注入工法が必要となる。また、砂質土、砂礫土層では、薬液注入工法またはウェルポイント、ディープウェルなどの地下水位低下工法が補助工法として併用される。このため、経済的に不利である。しかし、機械および仮設備が簡便であるため推進距離が短いとき

には経済的である。また、切羽が解放状態であるため、障害物と遭遇した場合には対応しやすい点が密閉型と比べ有利である。

切羽の掘削は、人力による場合がほとんどであるが、バックホウ、ブームカッタなどを装備した(半)機械掘り式やN値が低い軟弱な粘性土地盤では部分開放型(ブラインド式)の刃口を用いる方式もある。掘削土砂の搬出は、一般にトロバケットで行う。

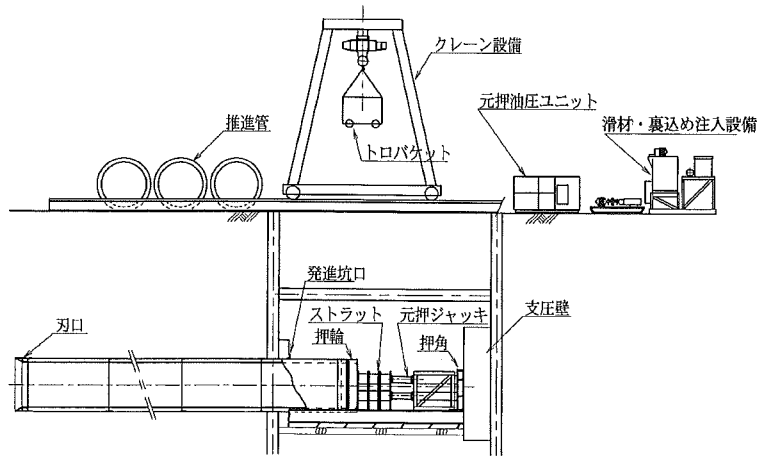


図-1 刃口式推進工法説明図

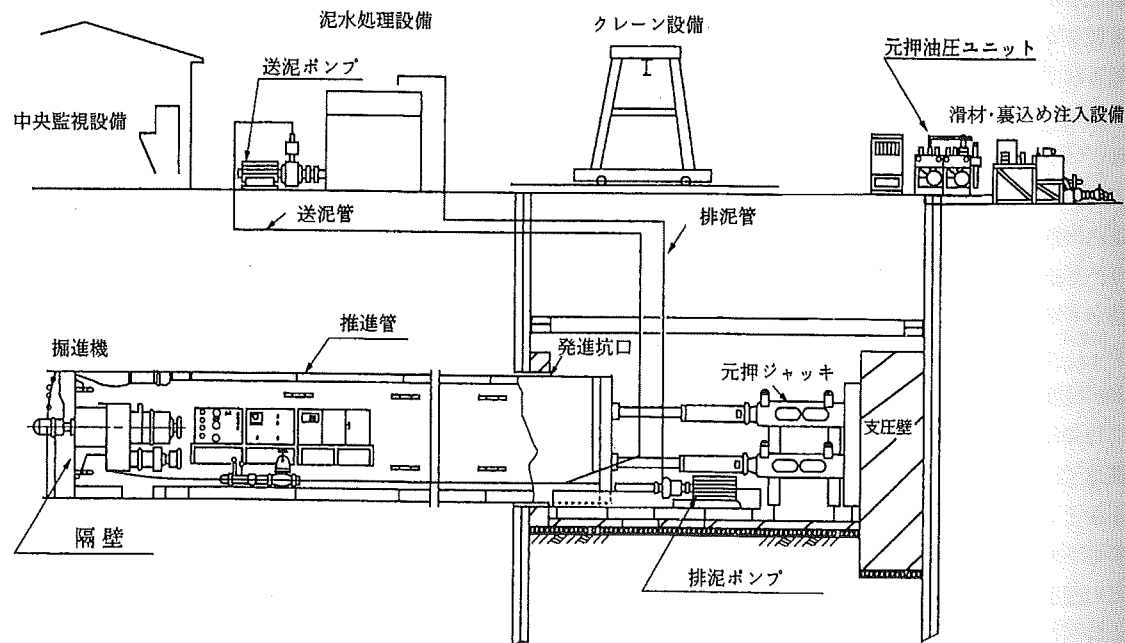


図-2 泥水式推進工法説明図

2-2 泥水式推進工法

泥水式推進工法は、切羽と隔壁間のカッタチャンバ内を泥水で満たし、切羽面に作用する土圧および水圧に見合う圧力に、泥水の圧力を保持することにより切羽の安定を図り、カッタヘッドで掘削しながら立坑に設けた元押しジャッキの推進力により工場で製作された推進管を地中に圧入して管きよを構築する工法である。

掘削土は泥水と混合して排泥水として坑外へ流体輸送され、排泥水は坑外に設けた泥水処理設備により土砂と泥水に分離される。泥水は送泥水として再び切羽へ送られ、送泥水、排泥水の管路系統は循環回路になっている(図-2)。

泥水式推進工法の泥水処理プラントは、通常地上に設置するため他工法に比べ用地が必要となる。また、泥水処理プラントの騒音・振動対策が必要になる場合がある。このため、都市部での施工では不利な点となって

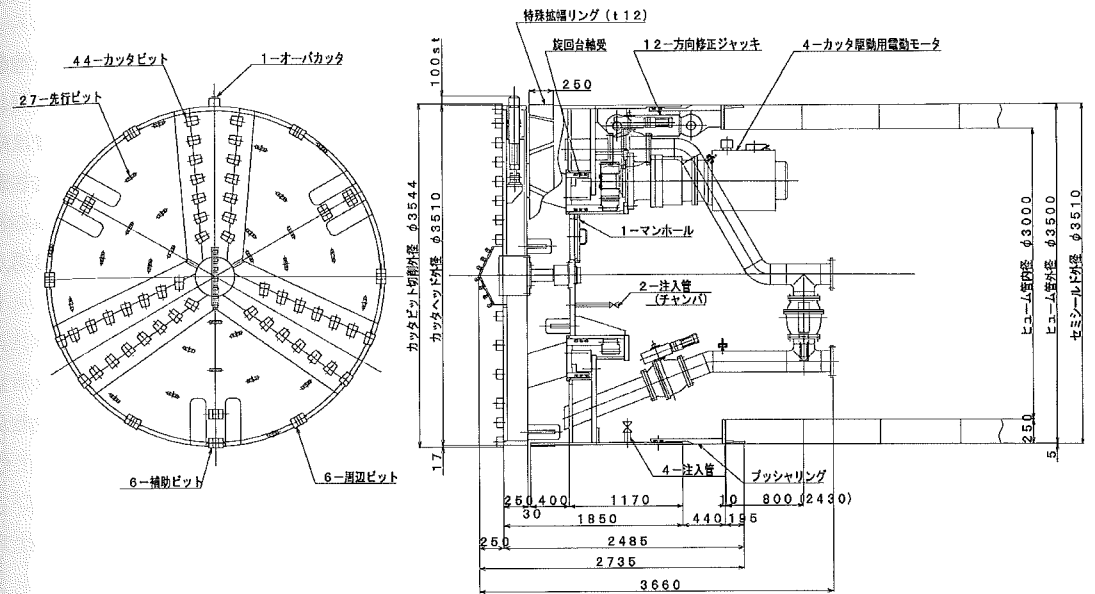


図-3 泥水式推進推進機(標準)

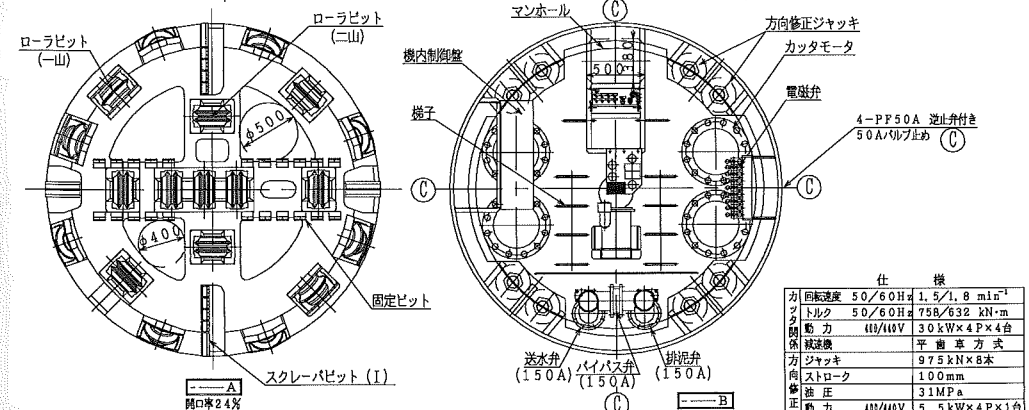
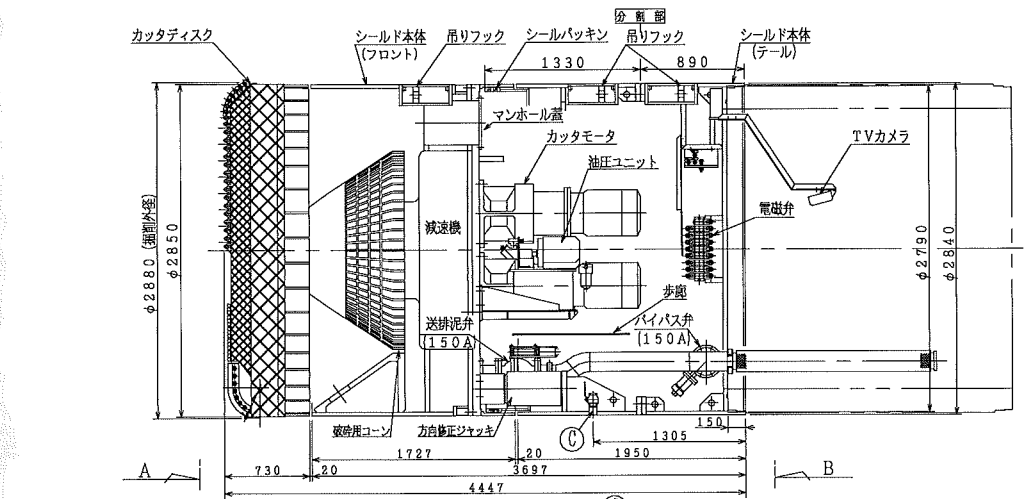


図-4 泥水式推進機(機内クラッシュ方式)

仕様	
回転速度	50/60Hz 1.5/1.8 min ⁻¹
トルク	50/60Hz 758/632 kN·m
動力	418/410V 30kW×4P×4台
減速機	平歯車方式
ジャッキ	975kN×8本
ストローク	100mm
油圧	31MPa
動力	418/410V 5.5kW×4P×1台

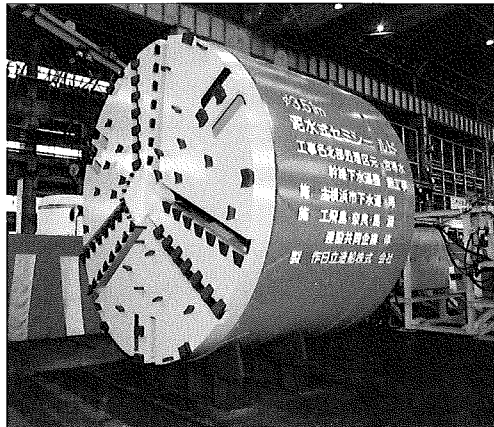


写真-1 泥水式推進推進機(標準)

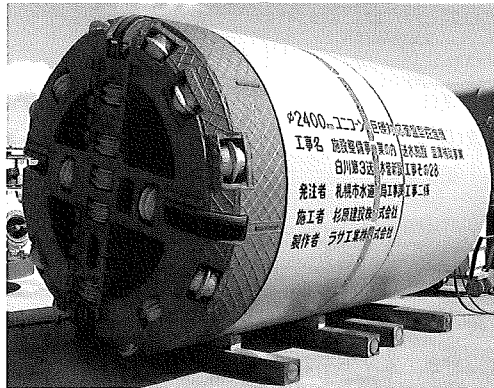


写真-2 泥水式推進機(機内クラッシャ方式)

いる。
しかし、高水圧や地下水圧の変化が激しい地盤条件でも、泥水圧により切羽の安定制御を確実に
行えるため適応性が高い。そして、密閉型では唯一、掘削と排土が循環回路としてシステム化されて
おり、集中管理(中央監視設備)を導入することにより、施工の信頼性が向上している(図-2, 3,
写真-1, 2)。

2-3 土圧式推進工法

土圧式推進工法は、切羽と隔壁間のカッタチャン
パ内およびスクリュコンベヤ内を掘削土砂ある
いは掘削土砂と添加材とを攪拌混練りした土砂
(泥土)で満たし、切羽面に作用する土圧および水
圧に見合う圧力に、充満させた土砂(泥土)の圧力
を保持することにより切羽の安定を図り、カッタ
ヘッドで掘削しながら立坑に設けた元押しジャ
ッキの推進力により工場で製作された推進管を地中
に圧入して管きよを構築する工法である。

掘削土は、推進速度に見合うようスクリュコン
ベヤで排土量を調整しながら、連続的に排出され
る。

排出された土砂は、トロバケット、圧送ポンプ
あるいは吸引装置により坑外に搬出する(図-5)。

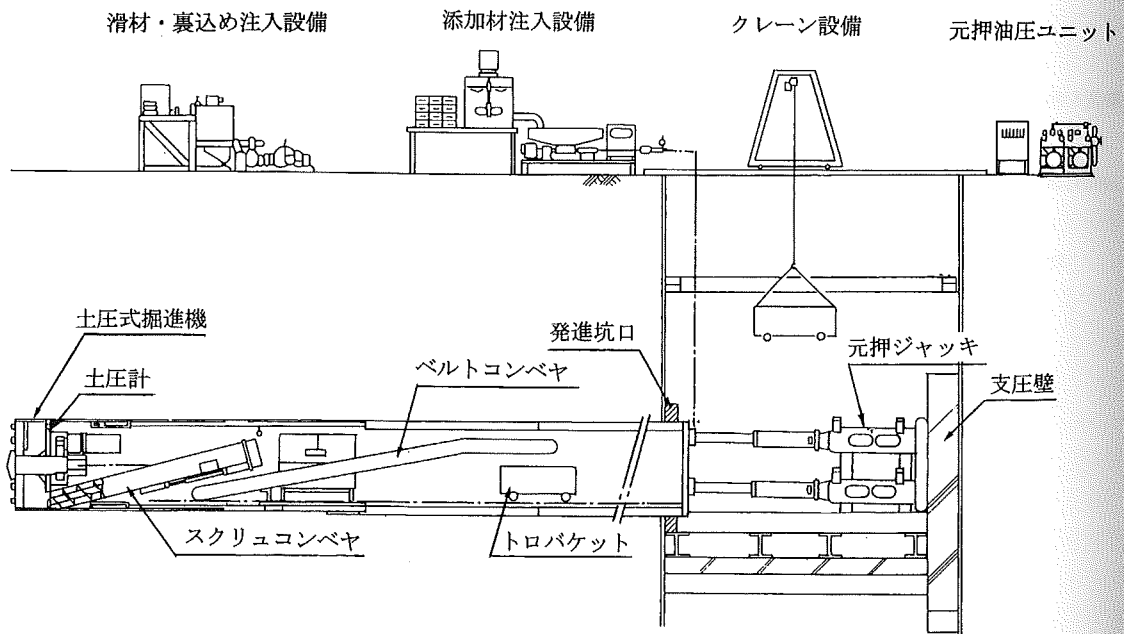


図-5 土圧式推進工法説明図

スクリュコンベヤの形式は、オーガタイプ(軸
付き)、リボンタイプ(軸なし)、オーガ、リボン
併用タイプに大別するとすることができる(図-6~8)。

土質条件で使い分けされるが、オーガタイプ
(軸付き)が一般に使用されている。リボンタイプ
(軸なし)は、中心の軸がないため礫層で採用され
る場合が多い。しかし、掘進機に装備可能なスク
リュコンベヤの径は、掘進機の径により限定され
るため、対応可能な礫径も制限を受ける。この場
合には、粗石を切羽前面で割り、カッタスリット

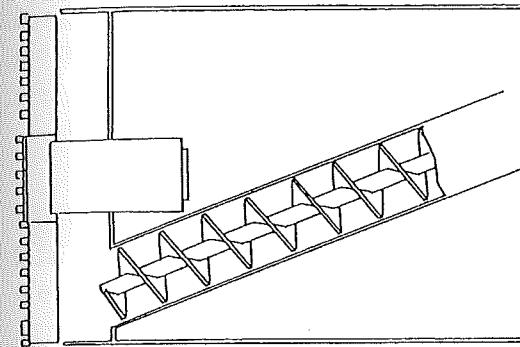


図-6 オーガタイプ(軸付き)

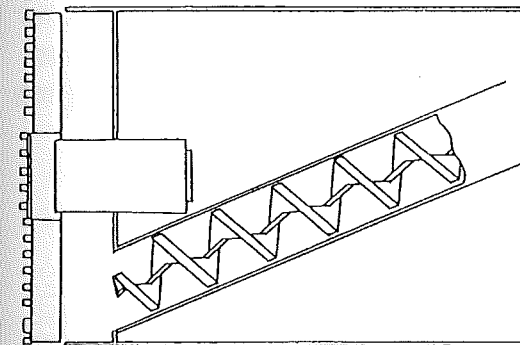


図-7 リボンタイプ(軸なし)

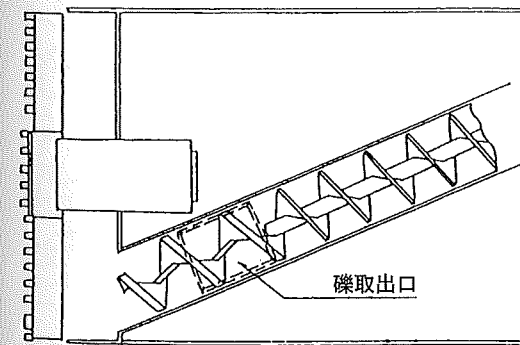


図-8 オーガ、リボン併用タイプ

の幅をスクリュコンベヤで搬出可能な礫径の幅に
し対応する必要がある。

圧力保持効果については、オーガタイプ(軸付
き)の方が、中心が開いているためにリボンタイ
プ(軸なし)より有利である。土圧式推進工法は、
添加材注入の有無により、土圧式推進工法と泥土
圧式推進工法に分類される。添加材の注入は、一
般的にシルト、粘土の含有率が30%未満の場合に、
掘削土の塑性流動化を促進させるために行われる。
カッタチャンパ内の土砂(泥土)は加圧された状態
のままカッタチャンパ内を移動し、スクリュコン
ベヤから排出されなければならない。したがって、
加圧下でも容易に移動・変形する性質である塑性
流動性が必要とされる。

また、カッタチャンパ内に充満された土砂(泥
土)は、切羽の水圧に対抗するため、難透水性と
圧力保持機能を持つことが不可欠になる。一般に
難透水性を持たせるための添加材として、ベント
ナイト、粘土などを混入する。その基本原理は、
カッタチャンパ内の土砂の粒度調整と間隙への添
加材の混入により、透水性を下げることにあり
て言われている。しかしながら、添加材を混入し
ても、なお、泥土が緩い状態であると透水性が高
くなり、地山の水圧に対抗できなくなる。さらに、
液体と同様にせん断抵抗力がなくなるため、スク
リュコンベヤの圧力保持機能を十分に発揮できな
くなる。したがって、泥土には適度のせん断抵抗
力を発揮できる固さが必要である。

一般に砂質土や砂礫土などの内部摩擦角の大き
い土質では、添加材を注入することで、粘性を有
した微細粒子が砂・砂礫粒子同士の直接接触状態
を軽減し、内部摩擦角を小さくすることにより、
塑性流動性を有する泥土に変換できる。

泥水式と比較すると大規模な泥水処理設備を必
要とせず、比較的狭い作業基地で施工可能である。

泥濃式と比べると地下水の高い地層でも対応可
能である。

発生土の坑内運搬がトロバケットを使用する場
合には、施工サイクルに土砂搬出が加わるため施
工性が劣る(写真-3, 図-9)。



写真-3 土圧式推進機

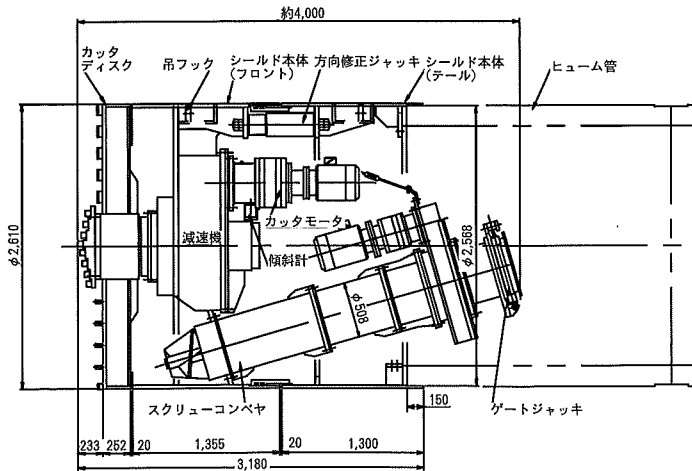


図-9 土圧式推進機

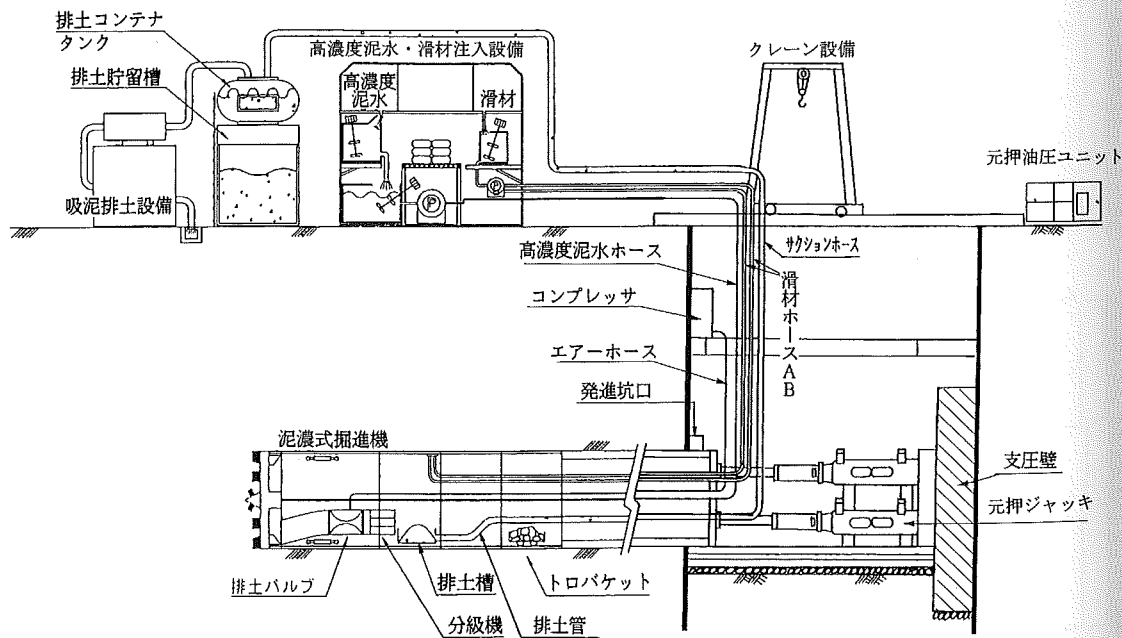


図-10 泥濃式推進工法説明図

2-4 泥濃式推進工法

泥濃式推進工法は、切羽と隔壁間のカッタチャンパ内を掘削土砂と高濃度泥水とを攪拌混合した土砂(泥土)で満たし、切羽面に作用する土圧および水圧に見合う圧力に、泥土の圧力を保持することにより切羽の安定を図り、カッタヘッドで掘削しながら立坑に設けた元押しジャッキの推進力により工場で製作された推進管を地中に圧入して管きよを構築する工法である。

掘削土は、掘進機内の排土バルブを開閉することにより間欠的に排土槽へ排出される。排土は搬送可能な粒径以下に分級され、吸引力により坑外へ搬出される。また、吸引不可能な大きな礫は、トロバケットにより搬出される(図-10)。

坑外に搬出された掘削土砂は、排土貯留槽を経てバキューム車による直接運搬処分または固化処理後ダンプトラックによる運搬処分が行われる。

基本的に、管の外側25mmをオーバカットし、滑材および高濃度泥水を充填するので、摩擦力が低減でき、長距離、曲線推進に適応しやすい。掘進機構造

がシンプルで経済的である。しかし、吸引排土のため、吸引排土効率は、掘進機操作員の技量に負うところが大きい。また、長距離になると、吸引排土のために高濃度泥水の注入量を多くしなければならず、産廃処理量が多くなる。また、吸引排土設備の排泥能力の制約上、現在の最大適用管径は呼び径2200程度までである。

高濃度泥水に必要なとされる基本的な性質は、泥

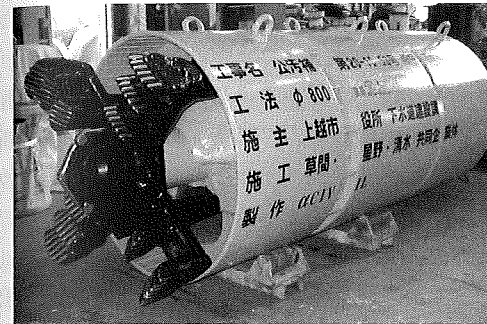


写真-4 泥濃式推進機(標準)

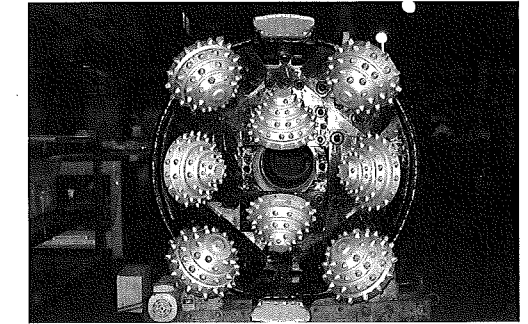


写真-5 泥濃式推進機(破砕型)

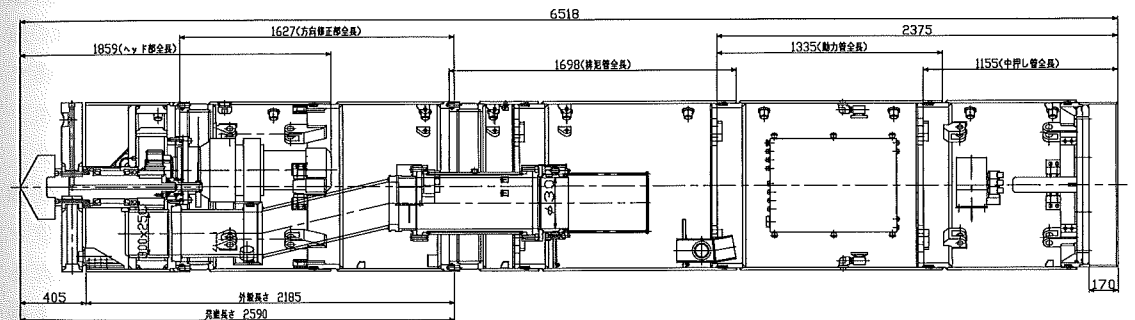


図-11 泥濃式推進機(標準)

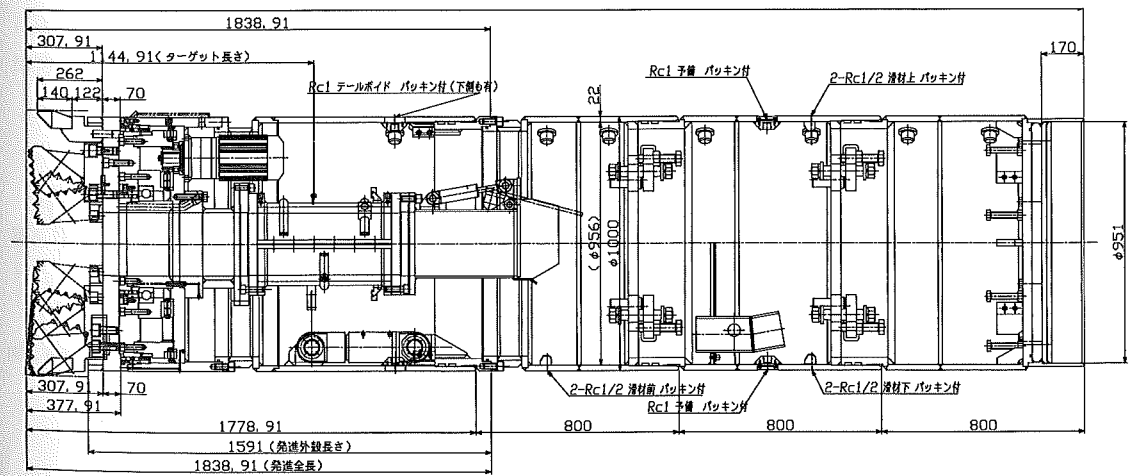


図-12 泥濃式推進機(破砕型)

固結シルト層や固結粘土層を掘削する場合、カットチャンパ内で掘削土砂が付着しやすくなるため、付着防止剤などを高濃度泥水に添加する。

③ 適用土質

各工法の基本的な適用土質は下記のとおりである。

粘性土：N値10未満

砂質土：N値50未満

砂礫土：礫含有率は、30%以上80%未満

硬質土：一軸圧縮強度200MN/m²未満

このように、一軸圧縮強度200MN/m²未満の硬質土を含めすべての土質に対応できる。しかし各工法において、採用する場合の注意項目が下記のようになっている。

(1) 泥水式

- 掘削対象地盤の透水係数は、 $k = 1 \times 10^{-2} \text{cm/s}$ 程度までとする。
- 破碎対象となる粗石・巨石の一軸圧縮強度は200MN/m²未満とする。
- 崩壊性の高い粗石・巨石混じり土では、薬液注入などを併用し、切羽の安定を検討する。
- 砂礫層での管径別により破碎方法が違う。

(2) 土圧式

- 破碎対象となる粗石・巨石の一軸圧縮強度は200MN/m²未満とする。
- 崩壊性の高い粗石・巨石混じり土では、薬液注入などを併用し、切羽の安定を検討する。
- 呼び径800および900の場合には、施工条件によって対応可能な掘進機の台数に制限があるので関係工法団体に問い合わせること。

(3) 泥濃式

- 掘削対象地盤の透水係数は、 $k = 1 \times 10^{-2} \text{cm/s}$ 程度までとする。
- 破碎対象となる粗石・巨石の一軸圧縮強度は200MN/m²未満とする。
- 崩壊性の高い粗石・巨石混じり土では、薬液注入などを併用し、切

羽の安定を検討する

④ 共通の掘進機の機構

4-1 カッタヘッドの形状

カッタヘッドは、掘進機の前面にあり、回転し、地山の掘削をする機能を有するものである。一般に面板型とスポーク型があり、カッタビット、余掘り装置などから構成されている。

土圧式掘進機は、カッタチャンパ内に貯留した掘削土砂で切羽土圧・地下水圧に対抗するため、スポークタイプが基本である。泥濃式も高濃度泥水と掘削した土砂の混合攪拌した土砂(泥土)で満たし、切羽面に作用する土圧および水圧に見合う圧力に、泥土の圧力を保持することにより切羽の安定を図るため、スポークタイプが基本である。

泥水式は、チャンパ内の泥水圧と面板により切羽の安定を図ることから、面板タイプが基本である。土圧式においても、礫対応のため切羽前面で礫を破碎するため、ローラカッタを装備し、礫の取り込みを規制するため、面板タイプを採用することもある。

4-2 カッタビット

カッタビットは、先端で地山を切削するため強度と耐摩耗性が要求され、一般に鋼の母材にタングステンカーバイトの超硬チップを埋め込んだものを使用するが多い。また、カッタビット周

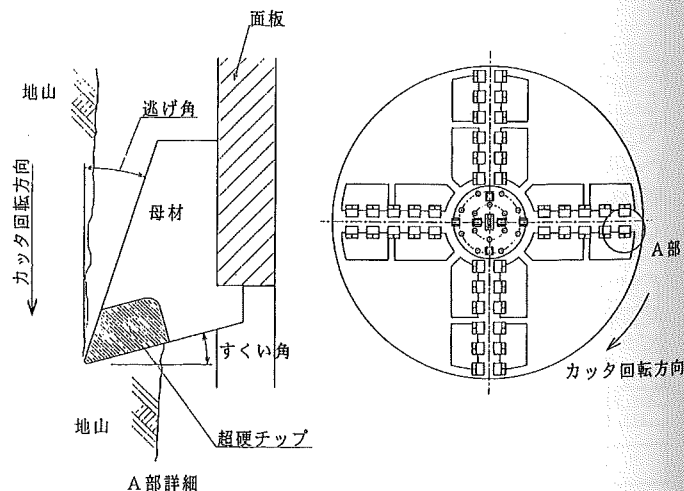


図-13 カッタビット(すくい角・逃げ角)

囲での土砂(泥土)の流れにより母材そのものが摩耗する場合があるので、必要に応じ硬化肉盛溶接(ハードフェーシング)が行われている。

カッタビットは、通常、1スパン施工途中では、交換できない。したがって、カッタビットの摩耗が予想される砂質土や礫質土および岩質土などの長距離推進では、カッタビットの材質、形状、個数、配置などを検討することが重要である(図-13)。

カッタビットの形状は、土質に応じてすくい角、逃げ角に注意を払わなければならない。固結粘性土に対してはすくい角、逃げ角を大きくし、礫層に対しては角度を小さくする。

一般に粘性土では、カッタビットに掘削土が付着成長し、切削力が低下することが多いのでカッタビットの高さを高くすることにより切削、攪拌効果を高めて、付着を防止する方法がとられている。また、礫層に対しては、チップの欠損や剥離を防止する対策が必要であり、ローラカッタ、礫用特殊ビットなどを併用することもある。

泥濃式のカッタビットはシェルビットを強化したような形状のものが使用されている。

4-3 カッタ支持方式

カッタヘッドの支持方式には、泥水式と土圧式は次の3方式があり、各支持方式の特徴を記す。

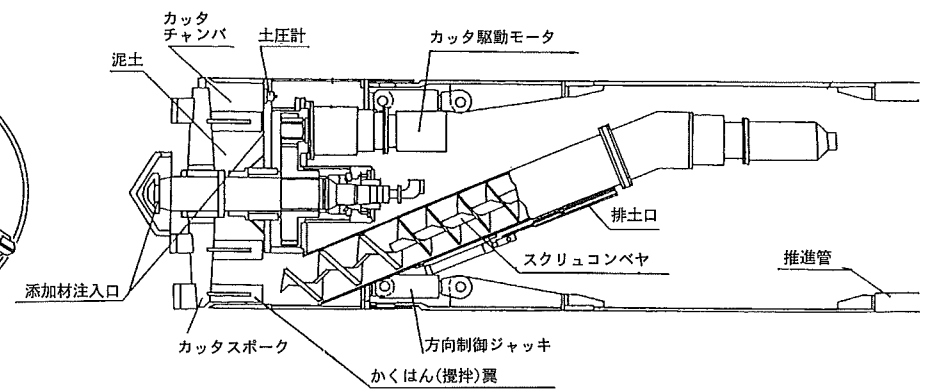
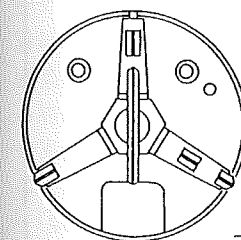


図-14 センターシャフト方式(土圧式掘進機)

(1) センターシャフト方式(図-14)

シール部が短く、軸受け部も小さいため構造が簡単である。また、固定された隔壁(バルクヘッド)に対しカッタが回転するため、土圧式の場合、付着の可能性が少なく、混練性能も良好である。

(2) 中間支持方式(図-15)

カッタヘッドの支持位置が強度的にバランスしており構造的に有利である。ただし、構造によっ

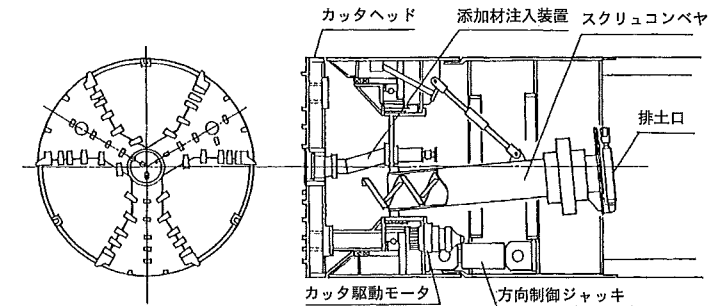


図-15 中間支持方式(土圧式掘進機)

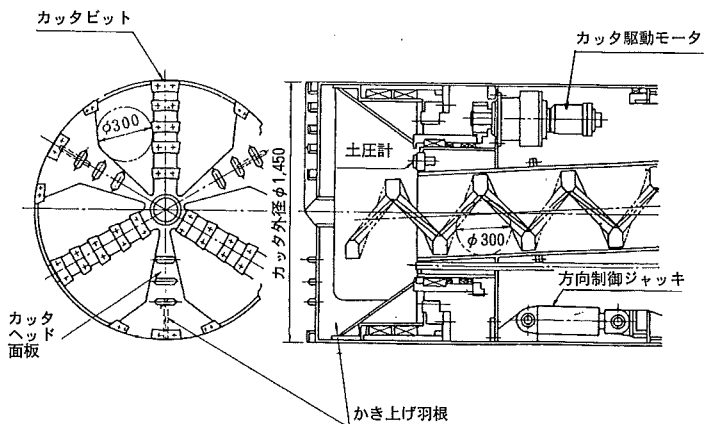


図-16 周辺支持方式(土圧式掘進機)

では、掘削土砂がカッタチャンバ内に付着しやすい場合があるので注意を要する。

(3) 周辺支持方式(図-16)

中心部の空間を広くとれるため、土圧式では大口径のスクリュコンベヤを取り付けることができる。ただし、シール部およびベアリング部の構造が複雑になる。また、中間支持方式と同様に、掘削土砂のカッタチャンバ内の付着には十分注意を要する。

一般に周辺支持方式の方が減速比を大きくできるため駆動トルクが大きくなり、また、土圧式では、隔壁中央部の空間を大きくとれるため排泥管口径も大きくできる。一方、センタシャフト方式は、静止している隔壁(バルクヘッド)に対しカッタが回転するため、攪拌能力に優れる。このようなことから、センタシャフト方式は粘性土から砂礫地盤に、周辺支持方式は粗石・巨石混じりの地盤に適用されることが多い。

泥濃式では排土管があるため、周辺支持方式と、センタシャフト方式の2つの支持方式しかない。

4-4 カッタトルク

カッタトルクは、地山および施工条件によって異なるので、十分に検討して余裕をもたせることが大切である。

カッタ装備トルクは、次の経験式により目安をたてることが多い。

$$T = \alpha B_s^3$$

ここに、

T : 装備トルク(kN・m)

B_s : 掘進機外径(m)

α : トルク係数

現在、市場に供されている泥水式掘進機のトルク係数は、12~23程度であり、掘削対象地盤が砂礫土の場合に大きくするが、推進工法では、さまざまな土質条件の工事に転用することがあるため、砂礫土にも対応できるようにあらかじめ大きなトルクを装備しているものが多い。

土圧式掘進機のトルク係数は、 $\alpha = 20 \sim 25$ 程度であり、カッタチャンバ内で掘削土砂を攪拌混合するために、泥水式掘進機より大きな数値になっている。

泥濃式掘進機のトルク係数は、 $\alpha = 7 \sim 15$ 程度である。

⑤ おわりに

各工法の基本概念を主に述べてきた。泥水式、土圧式推進工法については、シールド工法と同様に、理論が確立されていると考えられる。しかし、泥濃式推進工法については、泥水式と泥土圧式の間接的な考え方で、泥水式的な考え方、泥土圧式的な考え方がありまだ確立されていないのが現状と考える。今後、泥濃式の理論の確立が必要であると考えられる。

(文責：望月 崇/飛鳥建設(株))

参考文献

- 1) 日本下水道管渠推進技術協会：推進工法講座1。

トンネルジャーナル

土木学会関西支部技術賞を発表

土木学会関西支部は平成22年度の技術賞および技術賞特別賞の受賞者を発表した。

同賞は、事業規模の大小を問わず、土木技術者としての使命感と情熱にあふれたユニークな技術開発や事業実績、数々の困難を乗り越えた技術・業績、個人の独創的発想による計画立案、事業業績などを表彰対象とし、「技術賞」が土木の技術として総合的に優れた技術、「技術賞特別賞」が独創性、発展性、地域貢献度など、特定の評価項目についてとくに秀でている技術に与えられる。

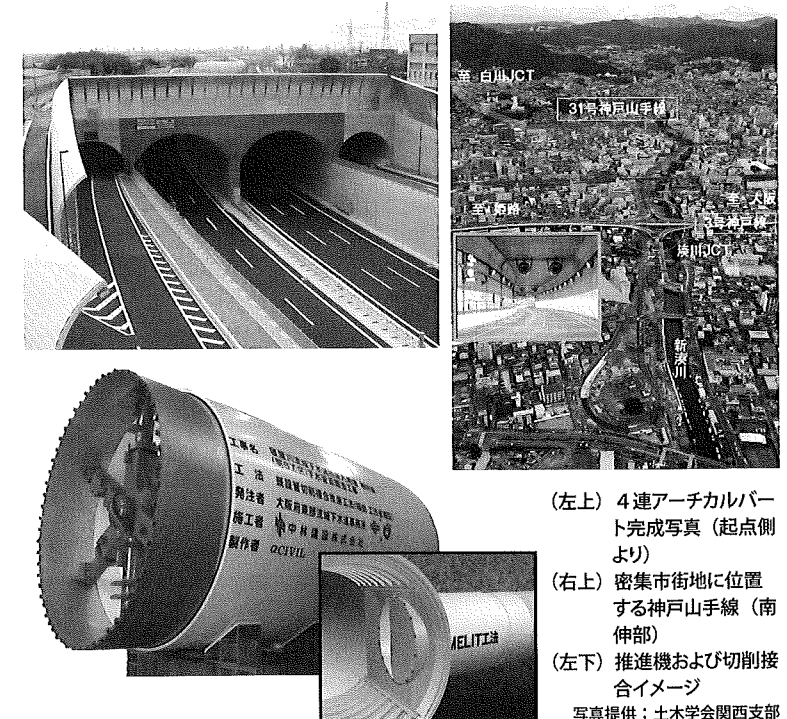
今回、技術賞に、「大規模開削による大断面4連アーチカルバートの施工」(西日本高速道路、大林・青木あすなる・松村特定JV、鹿島・熊谷・みらい特定JV)、「阪神高速神戸山手線(南伸部)の建設—密集市街地を貫く開削トンネル—」(阪神高速道路)ほか1件が、技術賞特別賞に、「既設管渠の直接切削による管渠同士の推進地中機械式側面接合について」(大阪府、中林建設)ほか2件が選ばれた。

「大規模開削による大断面4連アーチカルバートの施工」は、第二京阪道路の445m区間に、自専道6車線と一般道4車線を収める4連アーチカルバートを構築したもので、アーチカルバートの採用によりボックスに比べ上下床版厚を約60%に縮小した。一方、アーチルーフ基部断面は非常に大きく、このため懸念される温度ひび割れに対して、パイプクーリングを採用して対処した。4連アーチカルバート構造物の合理的な設計・施工方法の確立と、住宅密集地での大規模な工事における周辺環境への配慮と工期短縮を実現し、全線供用に貢献したことが評価された。

「阪神高速神戸山手線(南伸部)の建設」は、阪神高速7号線と3号線を接続する路線の南端部1.8km区間の工事。新湊川右岸

沿いを、全線開削トンネルとして施工した。路線は神戸市街を南北に通過するため、鉄道、道路、ライフラインなど多くの重要施設と交差する。密集市街地における近接構造物が輻輳した厳しい施工環境を克服し、工事を完成させたこと、完成後の渋滞緩和、利便性の向上など地域への貢献度が高いことなどが評価された。

「既設管渠の直接切削による管渠同士の推進地中機械式側面接合について」は既存下水管の能力不足を補うため、既設の地下河川(φ6,900)に増補幹線としてφ3,000の下水管を接続する、雨水処理能力の向上を目的とした工事。接続部が重交通路線下で、接続のために地上から補助工法を施工するには課題が多かったため、地中接合を行うこととし、1つの掘進機で推進工と既設管渠側部を切削・接合可能な工法を採用した。この新しい技術を用いて難工事を完遂し、今後の技術改良を行いつつ、同種工事への活用が期待されることなどが評価され、特別賞の受賞となった。



(左上) 4連アーチカルバート完成写真(起点側より)

(右上) 密集市街地に位置する神戸山手線(南伸部)

(左下) 推進機および切削接合イメージ

写真提供：土木学会関西支部

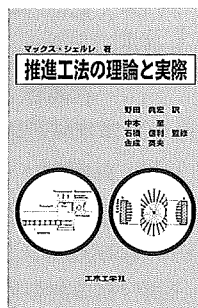
推進工法の理論と実際

B5判 437頁 価格8,925円 送料450円

マックス・シェルレ 著

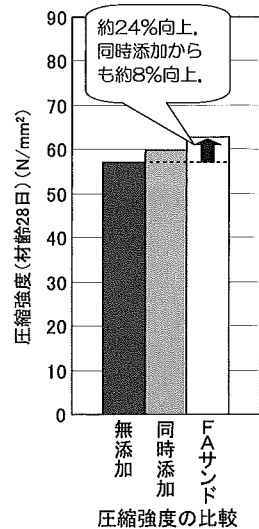
野田典宏 訳 中本 至・石橋信利・金成英夫 監修

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



工法・技術・製品ニュース

工法 フライアッシュの有効利用を促進



ハザマと関電パワーテックは、コンクリート用混和材としてフライアッシュを細骨材に混合した「FAサンド」を共同で開発し、(財)土木研究センターの審査証明書を取得したと発表した。

フライアッシュは、長期強度、ワーカビリティ、耐久性の向上のほか、アルカリ骨材反応の抑制効果をもった混和材だが、生コン工場などにとっては、その専用設備が必要となり、手間が増える点が利用拡大を阻害していた。また、西日本では、川砂の枯渇などにより砕砂の割合が増加し、ワーカビリティの改善が課題であり、フライアッシュを利用した改善策もその候補になっている。

そこで両社では、フライアッシュを砕砂などの細骨材にあらかじめ混

合させ、ユーザーが手間と負担をかけなくても混和材として使用できるよう同製品を開発した。

「FAサンド」を用いたコンクリートは、フライアッシュをコンクリート製造時に同時添加させて造ったコンクリートと比べても、コンクリートの品質改善程度は同等かそれ以上あり、また、FAサンドを用いると強度が高くなるぶん、セメント量を低減できるので、コンクリート製造時のCO₂排出量を削減する効果があるとしている。

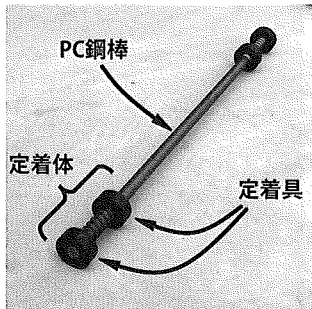
利用用途としては、生コンのほか、コンクリート工場製品やトンネルの吹付けコンクリートなども期待でき、近く、両社が中心となり協会を発足させようとして、同製品の普及と販売を促進するとしている。

ハザマCSR推進部

TEL : 03-3588-5711

http://www.hazama.co.jp

工法 地下構造物をスピーディーに耐震補強



大林組CSR室広報部広報第一課

TEL : 03-5769-1014

http://www.obayashi.co.jp

大林組は、地下構造物の耐震補強の効果を高め、スピーディーに補強を行うことができる「マルチプルナットバー」を開発した。(財)土木研究センターの建設技術審査証明は取得済み。

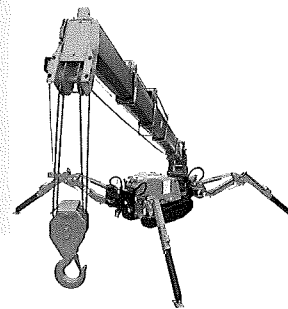
同製品は、PC鋼棒を用い、その両端部に独自の機械定着具を設けたもので、従来の鉄筋を用いた方法に比べ1本あたりの補強効果を1.7倍に高めた。これにより削孔本数を最大40%削減することができ、また、コスト、工期も30~40%短縮することができる。

施工は、コアドリルで既存構造物の壁を内空側から削孔し、削孔内部を打継ぎ処理したのち、硬練りのグラウトを注入、グラウトを満たした削孔内へ、グラウト材を塗布したマルチプルナットバーを挿入する。充

填したグラウト材は自立できる硬さのため、バーを挿入したあと直ちにコテ仕上げが可能となる。

これまで、地下構造物の耐震性は高いとされていたが、近年では地震の規模などによってはダメージを受ける可能性があることがわかってきており、プラント施設などを中心に地下構造物を耐震補強する需要が高まっている。一方で、地下構造物の耐震補強工事は、橋梁などと異なり地中に埋設されているため補強が難しい。一般には、壁や床板に内空側から地盤まで貫通しない程度に削孔し、その中に鉄筋を差し込んでモルタルを充填する方法がとられていたが、十分な補強効果を得るには多数の削孔を行うため、多大な労力を要するとともに、既存構造物の主鉄筋に影響する危険性もあった。

製品 かにクレーンに新型機



前田製作所産機事業部営業部

TEL : 026-292-2228

http://www.maesei.co.jp/

前田製作所は、「かにクレーン」の新型機となるMC285C-2を発売した。

同機は、アウトリガの設置を検出しないとクレーン操作ができないアウトリガインターロックを標準装備し、上位機種と同じ安全性を確保した。

また、国内販売のかにクレーンで初めて、ブーム先端に取り付けて使用するサーチャーフック(吊り荷重300kg)をオプション化した。サー

チャーフックを使用してクレーン作業を行うと、標準のフックブロックよりさらに地上揚程を取ることが可能になる。

■主な仕様

全長×全幅×全高

2.75m×0.75m×1.47m

クレーン容量

2.82t×1.4m

最大作業半径

8.205m×0.15t

最大値地上揚程

8.7m

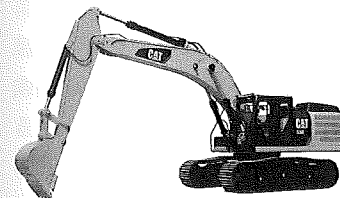
全体質量

1,960kg

遠隔制御装置

ラジコン標準装備

製品 新環境性能を備えた油圧ショベル



CAT 336E

キャタピラー・ジャパン広報課

TEL : 03-3717-1122

http://japan.cat.com/

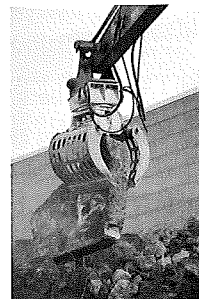
キャタピラー・ジャパンは、オフロード法(2011年基準)をクリアする環境性能と、パワーシステムの統合制御などによる優れた生産性を両立した30tクラスの油圧ショベルを、新たに「Eシリーズ」として発売した。

発売となったのはCAT 336E 油圧ショベル(バケット容量 1.4m³、運転質量34.5t)とCAT 336E L 油圧ショベル(バケット容量 1.5m³、運転質量35.3t)。両機はCAT 336D(L)油圧ショベルのフルモデルチェンジ機で、

同社が持つ最先端のテクノロジーを駆使した新型の環境対応パワーユニットを搭載することで、排出ガスに含まれる有害物質を大幅に削減。高い生産性を確保しつつ、燃料消費量を約13%低減(従来機比)させた。

その他、転倒時保護構造を備えたキャブの搭載、後方および側方の作業司会を確保するカメラおよびミラーを標準装備とするなど、作業環境の安全性の向上にも配慮した製品とした。

製品 油圧グラップルの発売開始



アトラスコプコ土木鉱山機械事業部

TEL : 03-5765-7890

http://www.atlascopco.co.jp

アトラスコプコは、アトラスコプコ・グループが製造・販売するサイレント・デモリションツールのひとつ、MGマルチグラップルの日本での発売を開始した。

MGマルチグラップルのシリーズは、5~50tのエクスカベータに取り付け可能な12種類のモデルから構成されている。

これらは堅牢な設計で耐久性に優れ、グラップルとハウジングにはもっとも過酷な環境に耐えることができ

るHARDOX対摩耗鋼板が用いられている。油圧式360度回転駆動装置が標準装備されており、迅速かつ正確に把持することが可能。

また、振動が少ないことから、ブームやベースマシンだけでなくオペレータへの負担も軽減されるため、長時間における作業の精度や生産性を大幅に向上させることが可能となるほか、大型油圧シリンダが装備され、サイクルタイムの短縮化も可能となった。



(社)日本トンネル技術協会 国際委員会

オーストリア・インバレー線のトンネル掘削/Cutting through Austria's Inn Valley

By Adrian Greeman: Tunnels & Tunnelling International, November, 2009, pp.16-19

現在、ベルリンとライプチヒからミュンヘンを通過する路線とナポリとシチリアのパレルモをつなぐ高速鉄道が建設中で、初期段階の主要なプロジェクトの1つに、オーストリア・チロール地方の中央を横断するインバレー線の改良工事がある。

このインバレー線の計画地は氷河によって形成されたU形の平坦な低地である浸食土石流扇状地となっており、付近には迂曲した谷川が流れている。

地質は沖積層で、砂、シルトおよび部分的に巨礫を含む緩い砂利層が混在している。

また、インバレー線に近接して既存の鉄道とA12高速道路あるいは住宅や農地が点在するなどしていたため、トンネル掘削時の地表面沈下や振動問題など、トンネル掘削の影響が問題となった。

谷川に沿ったトンネル区間では、河川と道路および鉄道を横断する。

この箇所地下水水位は36mで3.6気圧の水圧が作用することが想定されたので、シールド型TBM(ヘレンクニヒト社製泥水式シールド)を用いて掘削を行った。

掘削直径は13.03mで、最終的な高速鉄道トンネルの仕上がり寸法はトンネル直径で12.16mである。

橋と高速道路下の掘削では、ジェットグラウト

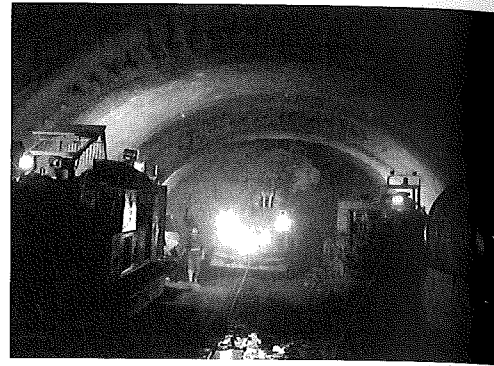


写真-1 トレビ・チューブによる地山改良

で地山改良体を構築する地盤安定化対策を適用した。

また、建設後約1世紀が経過した古い橋の下では切羽から短いパイプルーフを打設し、杭、地中連続壁またはジェットグラウトで補強された地盤中をNATMで掘削した。

新旧の鉄道が分岐・合流する箇所ではより正確な機械の制御を行いトンネル切羽周囲に地山補強体(チューブ)を構築するトレビ・チューブによる地山改良工法を適用しNATMで施工した(写真-1参照)。

この工法はジェットグラウトで地盤にセメントを混合させて、2mのアンブレラをトンネル周囲に構築するもので、混在層において一軸圧縮強度で平均5N/mm²以上の強度を確保するものとした。

また、トンネル掘削は地盤改良体内部を掘削することになるので、地山改良体の形状がリング形状であることから強度が強く周囲の地盤の変形に対する抵抗性が高い。

一方、地山改良体には高い止水性が求められたので、グラウトホールの施工精度を向上させるために、鋼管の挿入に対して電子位置検出器を使用すること、および切羽面での削孔機の位置を正確に計測することでmm単位の精度を確保するための技術を導入した。また、改良体の形状を特別な3Dモデル化ソフトウェアを用いて確認した。これらによって鋼管の挿入位置と注入管理を厳格に行った。

(文責：河上清和・五洋建設(株))

ピルパンジャル鉄道トンネル—ヒマラヤでのNATMの施工—/Pir Panjal: NATM in the Himalayas

By Dr. Friedrich Prinzl: Tunnels & Tunnelling Inter-national, February, 2010, pp.23-26

ピルパンジャル鉄道トンネルはウダンプルからスリナガルまでの旅客と貨車輸送のためのジャンム-カシミール新広軌(1.676m)鉄道計画の一部である。

トンネルはNATMで施工されるインドで最初のトンネルで、南部シャム地方のパニハル駅と北部カシミール地方のカジゴンド駅の間に位置する。トンネルの延長は10,960mで、掘削断面積は65~80m²である。

掘削地山の地質は、両坑口から長区間にわたって軟弱層が連続し、その後、石英岩と貫入岩を含む強風化で破碎された石灰岩層が、続いて頁岩層が入り込んでいるわずかに破碎された石灰岩層となっている。付近の地形はカルスト地形を呈しているが、粘土が亀裂間や断層に挟在するカルスト地形の特徴は部分的に見られただけであった(図-1参照)。最大湧水量は50~60 l/secであった。

掘削工法は、工程を短縮するために横坑と立坑からトンネルを掘削することで1工区の最大掘削延長を7,600mとした。横坑の延長は774mである。一方、立坑の直径は12m、深さを55mとし、30mの連絡坑から本坑を掘削するものとした。また、トンネル北坑口から連絡坑に向かって別にトンネルを掘削した(図-2参照)

横坑と立坑の掘削は2005年5月に開始され、2005年8月からは北坑口からの本坑掘削が開始された。しかし、冬季の工事経験の少なさと機械設備の不備、資材搬入および天候に対する対策が不十分であったため、準備工が遅れたうえに、安全対策と労働問題がさらに状態を悪化させ、進捗を確保することが難しい状況であった。

(文責：河上清和・五洋建設(株))

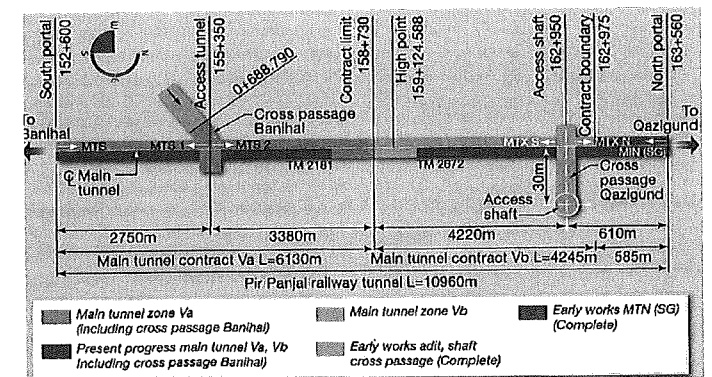


図-2 工区レイアウト

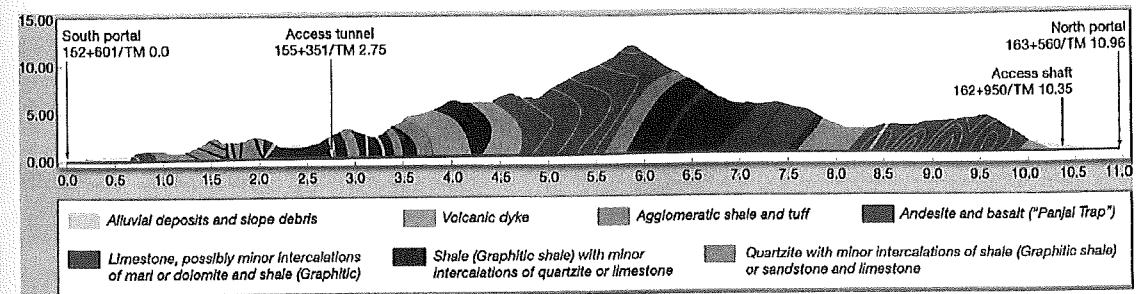
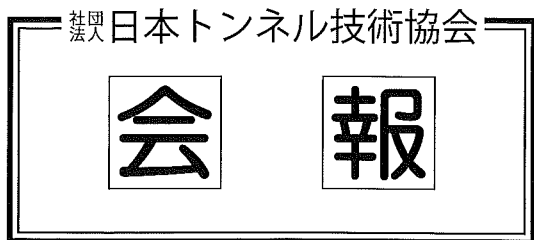


図-1 地質縦断面図



1. 会員の現状

	5月31日現在
正会員	1,655名
団体会員	371名
個人会員	1,284名

2. 第204回理事会

日時：平成23年5月18日(水) 15:30~16:00
 場所：東京商工会議所 8F「東商スカイルーム」
 出席者：理事23名、監事3名、計26名
 議事：

- ①入退会
 団体会員33名、個人会員8名の入会と団体会員33名、個人会員12名の退会を承認した。
- ②第37回通常総会進行次第を承認

3. 第205回理事会

日時：平成23年5月18日(水) 16:30~16:45
 場所：東京商工会議所 7F「国際会議場」
 出席者：理事23名、監事3名
 議事：会長、副会長、専務理事の互選
 評議員の選任

4. 第37回通常総会

日時：平成23年5月18日(水) 16:00~17:00
 場所：東京商工会議所 7F「国際会議場」
 出席者：総員1,659名のうち
 出席141名、委任状879名、計1,020名
 議案：

- 第1号議案 平成22年度事業報告について(内容省略)
- 第2号議案 平成22年度事業収支決算について(別表参照)
- 第3号議案 平成23年度事業計画について
 新公益法人制度改革の施策を踏まえ、今後協会の進むべき方向を具体的に検討するとともに、従前から実施してきているトンネル技術の発展と社会の変革

に対処するための諸事業を推進すること、また、ITA加盟国代表機関としての期待に応えるよう積極的に取り組んでいく。

- 第4号議案 平成23年度事業収支予算について(別表参照)
- 第5号議案 役員の選任について(任期満了による選任)
 新役員、顧問、評議員名簿は別表参照
 常設委員会の委員長を次表のとおり指名した。

委員会名	委員長名	所属役職
総務委員会	宮林 秀次	(独)鉄道・運輸機構 理事
国際委員会	猪熊 康夫	中日本高速道路(株) 八王子支社長
事業委員会	桑原 彌介	日本交通技術(株) 相談役
技術委員会	今田 徹	東京都立大学 名誉教授

なお、詳細は協会ホームページ「情報公開資料」をご参照願います。

5. 委員会の開催状況(5月1日~31日)

- ①運営広報関係委員会
 - ◎総務委員会(5/18)
 日月俊昭委員長ほか8名、理事会資料を検討
 広報小委員会会誌WG(5/11)
 大島洋志主査ほか11名、6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(5/31)
 早坂治敏主査ほか8名、海外ニュースを翻訳
 計 3回開催 30名出席
 - ②調査研究関係委員会
 - ◎受託研究特別委員会
 効率的掘削工法特別委員会(5/13)
 西村和夫委員長ほか22名、試験結果などの中間作業報告内容を検討
 効率的掘削工法特別委員会中流動WG(5/20)
 松岡茂主査ほか7名、原稿を検討
 効率的掘削工法特別委員会高速施工WG(5/25)
 領家邦泰主査ほか8名、原稿を検討
 効率的掘削工法特別委員会補助ベンチWG(5/25)
 鈴木雅行主査ほか9名、掘削機能力を検討
 計 4回開催 50名出席
- 合計 7回開催 80名出席

6. 国際会議の開催予定

会議名	開催日	場所	主催者等
第38回ITA総会およびコンGRESS 「Tunnelling and Underground Space for a Global Society」	2012. 5. 18~24	バンコク(タイ)	International Tunnelling and Underground Space Association (国際トンネル協会) Thailand Underground & Tunnelling Group http://www.wtc2012.com/
第39回ITA総会およびコンGRESS 「Underground - the way to future -」	2013. 5. 10~17	ジュネーブ(スイス)	International Tunnelling and Underground Space Association (国際トンネル協会) Swiss Tunnelling Society

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

7. 国内催物

当面する技術課題をふまえた各種催物を企画し、トンネル関係者の実務上有益な知識の向上に努めます。

☆施工体験発表会開催スケジュール

恒例の施工体験発表会を下記のとおり開催します。トンネルは経験工学といわれています。多くの方々の経験から得られた技術を自らのものとする大変良い機会と考えます。

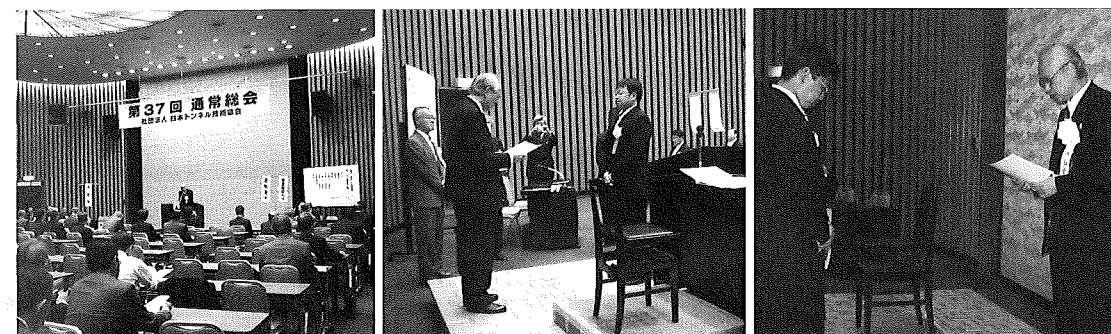
- 開催日：2011年10月13日(山岳)「様々な課題克服に取り組んだ山岳トンネル工事例」
 2011年10月14日(都市)「都市トンネル工事におけるコスト縮減または工期短縮の施工事例」

- 会場：(東京)神宮外苑日本青年館
- 表彰制度にもとづき発表者の優れた方を審査員と参加者で評価し表彰いたします。

☆トンネル技術ステップアップ研修会「第14回シールド部門」

トンネル実務経験5~10年程度の中堅技術者を対象としたトンネル技術ステップアップ研修会を2011年9月29日、30日(東京;JTA会議室)に開催が決まりました。

※催物案内の詳細は逐次協会のホームページ<http://www.japan-tunnel.org/event_japan>に掲載いたしますのでご覧くださいませようご案内します。



第37回通常総会、施工体験発表会最優秀賞表彰式 風景

◆トンネル年報2011頒布中◆

- トンネル年報2011 価格(税込):会員2,000円,非会員3,000円
 - トンネル年報—工事記録CD-R版(各年)— 価格(税込):会員10,000円,非会員15,000円
- ※詳しくはホームページ(http://www.japan-tunnel.org/tokuten)をご覧ください。

平成22年度事業収支決算ならびに平成23年度事業収支予算総括表

(単位:円)

Table with 5 columns: 科目, 平成23年度予算額①, 平成22年度決算(予算額②, 決算額), 増減①-②. Rows include (収入の部) and (支出の部) with detailed sub-items.

- (1)財産増減支出 什器備品購入費50万円とする。
(2)借入金限度額 無担保借入金の限度額は、2,000万円とする。
(3)特定資産計上 40周年記念事業積立金500万円とする。

平成23年度 役員・顧問・評議員名簿

Table with 6 columns: 区分, 氏名, 所属役職, 区分, 氏名, 所属役職. Lists names and roles of board members, advisors, and evaluators.

会長1, 副会長2, 専務理事1, 理事30, 監事3, 役員計37名 顧問6名, 評議員29名
平成23年5月末現在

8月号予告[8月1日発売予定]

- ラインセンサを用いたトンネル変状検査システム
- 北海道新幹線 札苅トンネル
- 東名高速道路・海老名市道2544号線交差点
- 首都圏中央連絡自動車道 真名トンネル
- 墨田区押上一丁目、横川二丁目付近再構築工事【連載講座】
- 最新推進工法技術(3)

*内容等は変更になる場合がございます

編集後記

◆月に1,2度は、まちの図書館へ行って、本を物色します。こういう時期だからでしょうか、地震や復興にかんする特集コーナーが組まれています。1923年の関東大震災のものも多く、数冊借りては眺めています。

◆地震後、帝都復興院が設立され、総裁の後藤新平が中心となり、土木局長の太田円三らの働きのもと、きわめて理想的な都市計画がつくれます。しかし、計画は、議会で旧守派の抵抗にあい、予算の大幅な減額により、骨抜きにされます。なんとか生き残った計画が、現実に絡みとられながらも、下町と皇居周辺などで部分的に実施されるなか、旧守派の陰謀にもみえる復興局疑獄事件が発覚、多くの幹部が退職を余儀なくされ、理想を支える後盾をなくした太田は自殺してしまいます。このようにも読める、ことなりゆきは、さながら近代小説のようでした。

◆とはいえ、理想とされた復興計画のペースは、どうも(テレビで垣間見る)平壤しか連想させないしろもので、長らく孤立し臨戦態勢にある、かの都市の街なみは、極度に防災性能を発達させた結果だったのかと、妙な得心をしました。

◆現代は建造物個々の防災に対する性能が、当時に比べ格段に向上しているので、かつての復興計画が実現しなかった部分が、即、いまの災害に対する都市の脆弱性を、示すものではないでしょう。が、すくなくとも弱さを孕んでいる部分だとは考えられそうです。私の住む圏域の直下型地震も高い確率で起こるとされている現状では、弱さもきちんと認識し、怖がりすぎずに備えておかねば、と思っています。(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。

★(社)日本トンネル技術協会会員の方の住所(送付先)変更は直接(社)日本トンネル技術協会へご連絡ください。

トンネルと地下

第42巻 第7号 (通巻491号)

ISSN 0285-631X

Tonneru to chika

平成23年6月20日 印刷

平成23年7月1日 発行

社団法人日本トンネル技術協会

会長 佐藤 信彦

〒104-0041 東京都中央区新富2丁目14番7号(新光第一ビル)

TEL: 03-3553-6174

FAX: 03-3553-6145

<http://www.japan-tunnel.org>

発行所 株式会社土木工学社

〒162-0832 東京都新宿区岩戸町16

番地メイジャー神楽坂

TEL: 03-3267-2888

FAX: 03-3267-2807

<http://www.tunnel.ne.jp>

発行人 山本 育徳

編集人 山本 勝誉

印刷 新協印刷株式会社

本誌の購読について

■購読をご希望の方は、書店または土木工学社へ直接お申し込みください。

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

購読料

1冊 1,575円(送料108円)

(本体価格 1,500円)

1年 15,000円(前納)

振替 00110-8-190072

本誌広告のお申し込み方法

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

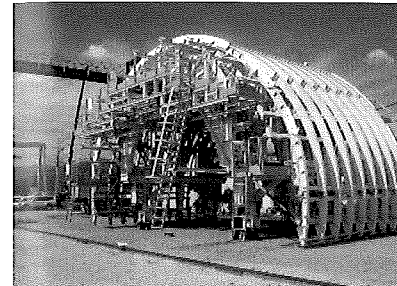
本誌掲載記事を無断で複写(コピー)および転載することは、著作権上での例外を除き、禁じられております。本誌から複写または転載を希望される方は、小社(03-3267-2888)までご連絡ください。

トンネル 二次覆工用型枠 総合メーカー

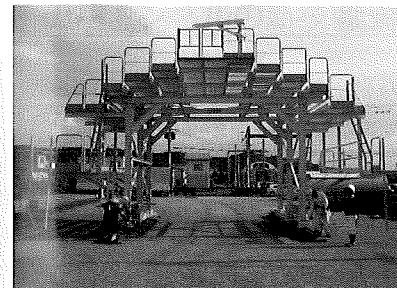
一步前進!

~限りない未来への挑戦~

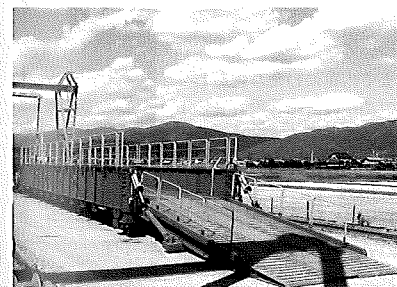
 大栄工機株式会社



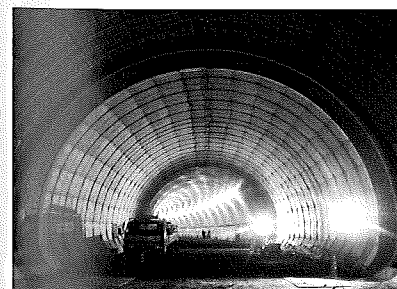
スライドセントル



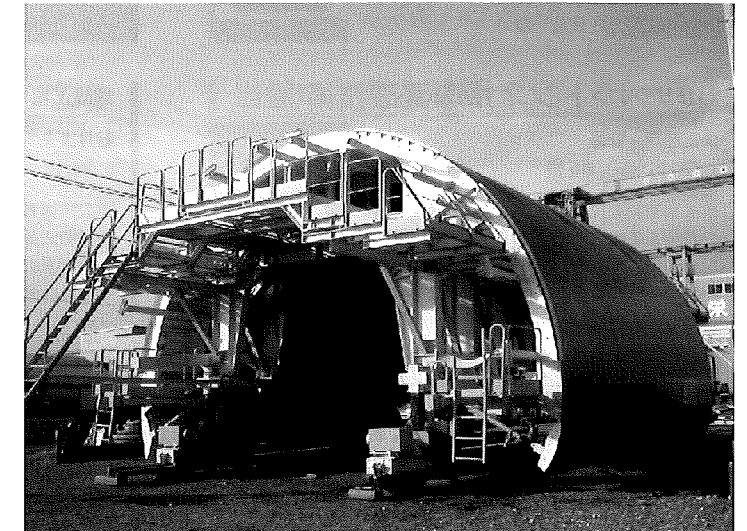
作業台車



移動棧橋



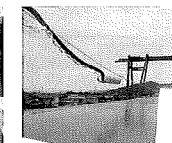
NETIS登録番号 CB-090003-A
EPSパネル養生



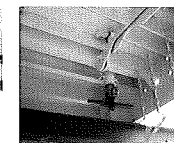
スチールフォーム(中流動コンクリート対応型)



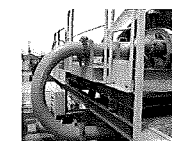
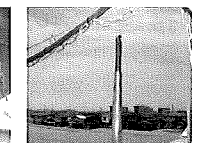
MC矢板



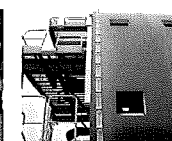
天端引抜パイプレタ



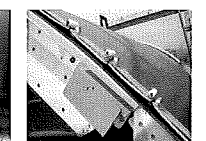
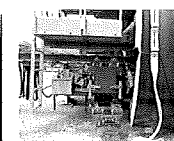
エアー抜き金具



配管切替装置



剥離材塗布装置付自動ケレン機



クラック防止センサー

ご用命は下記まで

〒526-0842 滋賀県長浜市春近町90番地

TEL: 0749-64-0246 FAX: 0749-63-6765

URL: <http://www.daieikouki.co.jp/>

E-mail: daiei-co@minos.ocn.ne.jp

※詳しくは、弊社ホームページをご覧ください

山岳トンネル設計の考え方

今田 徹 著
3,200円+税 B5判

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



わかりやすいトンネルの発破技術

山田隆昭 監修
1,500円+税 B5判

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



多様化するシールド掘進技術

シールド工法技術協会 監修
2,500円+税 B5判

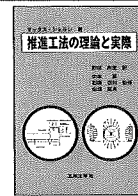
近年に開発、実用化された29工法を整理、体系化するとともに、各工法の境界、システム・考え方の違い、適用での留意点などをわかりやすく説明した。



推進工法の理論と実際

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

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



わかりやすい土质地質学

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、土木工事に於いて問題となる地質事象や、各種地質調査の原理についてわかりやすい解説を与えた。



セグメントの新技术

小泉 淳 監修
2,000円+税 B5判

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



続きみの庭にも温泉が出る

石井康夫・俣野恭寛 共著
1,200円+税 新書判

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



建設工事の保安地質学〔改訂版〕

石井康夫 著
6,000円+税 A5判

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



地質工学概論

菊地宏吉 著
4,757円+税 B5判

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



シールドトンネルの新技术

シールドトンネルの新技术研究会 編
4,660円+税 B5判

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



地下水の科学 I ~ III (全3巻)

P.A.ドミニコ・E.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、地下水の物理学的特性とその調査方法などをわかりやすく解説した。



第I巻 地下水の物理と化学
4,078円+税 B5判

第II巻 地下水環境学
4,272円+税 B5判

第III巻 地下水と地質
3,689円+税 B5判

わかりやすいトンネルの力学

福島啓一 著
5,825円+税 B5判

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



ブロック理論と岩盤工学への応用

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

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



山岳トンネルの新技术

ジェオフロンテ研究会 編
14,573円+税 B5判

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



ジオテキスタイル設計マニュアル

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

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



岩盤地下空洞の設計と施工

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

岩盤内に地下空洞の設計を行うための地盤工学上の基本的事項について詳述した。



建設工事の地質診断と処方

石井康夫・矢嶋壯吉 共著
4,300円+税 A5判

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



トンネル工事の衛生と環境保全

白谷三郎・橋本康孝・友田 孝 共著
3,200円+税 A5判

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



岩盤の計測と解析

鈴木 光 著
4,200円+税 A5判

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



わかりやすいトンネル技術入門(都市トンネル編)

橋本定雄・松本崇義・松本正敏 共著
2,800円+税 A5判

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



海洋資源開発

稲田善紀 著
3,400円+税 A5判

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



トンネルと地下

1,500円+税 B5判 月刊(毎月1日発売)

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



書籍のお申し込み

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

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

各種トンネル覆工型枠・施工設備メーカー

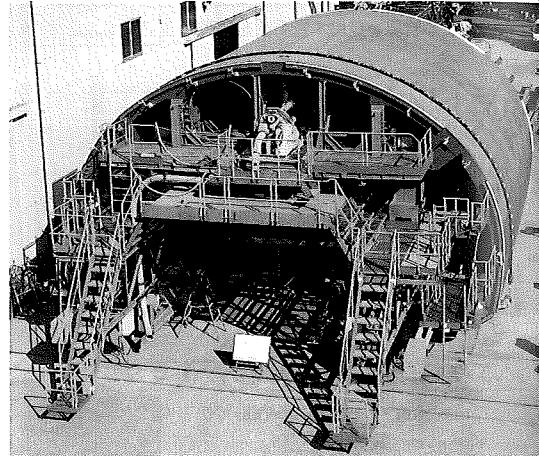
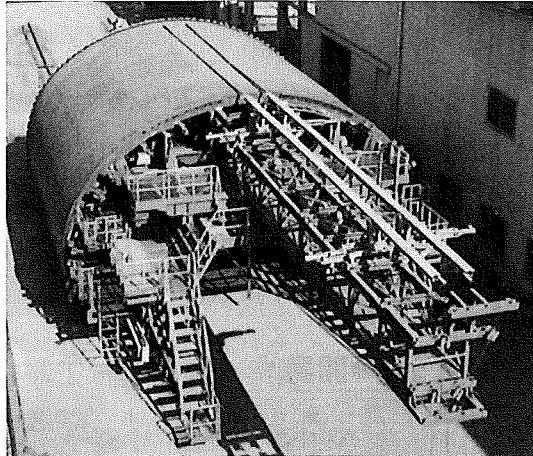


東和機電工業株式会社 かいた 瀬田工場

〒820-1111 福岡県飯塚市勢田2594番地の18
 電話：(09496)2-3500(代表)
 F A X：(09496)2-6310
 E-mail：towakiden@yahoo.co.jp

創業昭和29年，設立昭和39年，昭和42年にセメント業界へ参入して，
 44年の歳月の中，努力して今日まで参りました。
 九州一円離島に至るまで真心こめて納めさせて頂いた実績が，
 四国・関西・関東までの実績を伸ばしております。

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



◎ 強靱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。

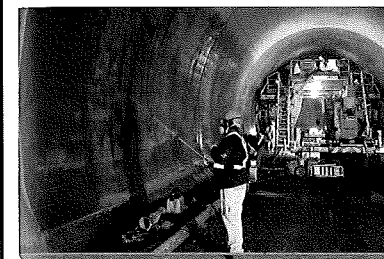
● 自動ケレン装置



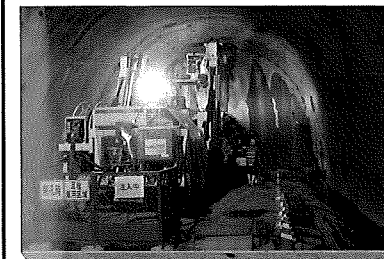
- ロータリー式自動配管切替装置
- 油圧式伸縮バイブレーター装置
- ラップ側押上防止センサーおよび警鳴装置
- クラック防止用弾性体式ラップアングル
- コンクリート圧力センサー
- コンクリート充填センサー

- 2段式伸縮型エア抜き
- 本坑通過型非常駐車帯セントル
- 横移動式棧橋
- 自走式シート張り作業台車
- 橋型走行クレーン
- コンクリート養生設備

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



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



様々な現場で力を発揮する
 注入材、裏込材
 “最適な選択をご提供”

注入材	超微粒子注入材	太平洋アロフィクスMC
	瞬結工法用無機懸濁型 土質安定材・下水道止水材	太平洋アロフィクスMC2号
	注入式長尺先受工法用注入材	太平洋スーパーハード
裏込材	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
	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