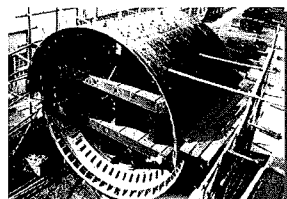


三菱重工

地下開発に夢を広げる三菱重工のトンネル技術



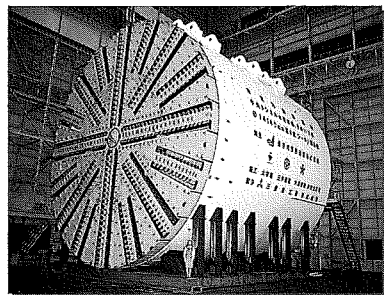
(交通新聞提供)

●日本最初の本格的シールド
関門トンネル工事で活躍(昭和14年)

1939

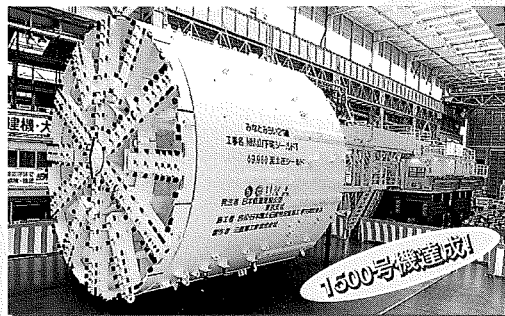
●英仏海峡トンネル T-5工区貫通式
歓声にわく関係者たち(平成元年)

1989



●世界最大級の泥水式シールド
東京湾横断道路工事で活躍

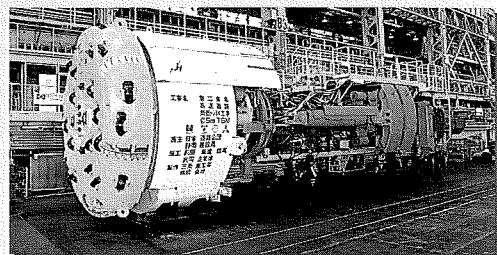
1993



●多軸式泥水矩形シールド
首都高川崎縦貫道路
トンネル工事で活躍

1997

●泥土圧シールド
みなとみらい21線工事で活躍



●オープンTBM
第二東名高速道路
(岡部トンネル)工事で活躍

2000

2001



21世紀を掘る

三菱重工業株式会社 本社 搬送システム部 地中建機グループ 東京都千代田区丸の内2-5-1 〒100-8315 TEL03(3212)3111
神戸造船所 建設機械部 営業課 神戸市兵庫区和田崎町1-1-1 〒652-8585 TEL078(672)3111

トンネルと地下 4

vol. 33
no. 4
2002

2本の既設トンネルの間をNATMで横断
径5.1mのレイズボーラーで立坑を掘る
PCパネルによる新旧トンネル接合部の処理
7.5km長距離シールドトンネルの工事概要
覆工の薄肉打ち替えによる急速補修
シールド機挙動のシミュレーションに関する研究
地山等級分類の改善提案

日本トンネル技術協会誌

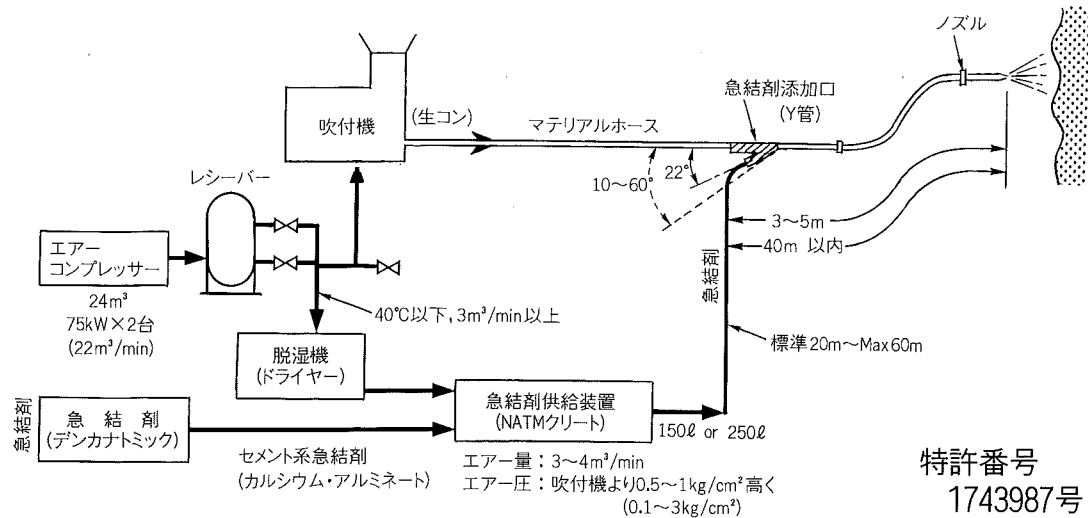


世界に誇る日本のNATMトンネル

安全性・経済性・高品質

技術者が選ぶ

NATMトンネル吹付けシステム(デンカナトミック使用時)



湧水、剥落をシャットアウトする

- 湧水に強い
- 急結性が優れている
- 付着性が大きく、はね返り損失が少ない
- 短時間強度・長期強度とも優れている

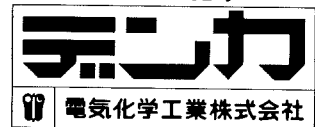
《デンカナトミック》種類 ※: TYPE-Lは、液状急結剤です。

TYPE	かさ比重(標準)		真比重(標準)	標準使用量(×C%)	主成分	性能および主な用途
	有振動	無振動				
3	1.03	0.73	2.48	3~6(標準5)	無機塩	一般吹付け工事, 用排水路・法面吹付け工事, 他
5	1.22	0.78	2.68	5~10(標準7)	急結性セメント鉱物	高急結性一般吹付け工事, 湧水部の吹付け工事, ナトムトンネル用万能タイプ
10	1.18	0.70	2.86	10~25	超急硬性セメント鉱物	高強度用緊急・補修吹付け工事, ぼうあつトンネル工事, 膨張性地山工事, 地下貯蔵用タンク
L*	—	—	1.47	4~8	無機塩	一般吹付け工事 トンネル・用排水路・法面吹付け工事

■ トンネル関連製品

- デンカ エーショット…高強度吹付けコンクリート用混和材
- デンカ FTN…吹付けコンクリート用高機能混和剤
- デンカ サブショット…小断面トンネル(TBM)用吹付けモルタル
- デンカ Pロック…長尺ボルト・ケーブルボルト用定着材
- デンカ クレタン/MIF…地盤注入およびフオアパイルング定着材
- デンカ AGF…AGF工法用セメント系定着材
- デンカ ES…無公害な土質安定用急硬材
- デンカ CSA 100F…トンネル2次巻きのひびわれ抑制剤(水和熱抑制型膨張材)
- デンカ GK-10…セメント系裏込注入材

チャレンジする化学

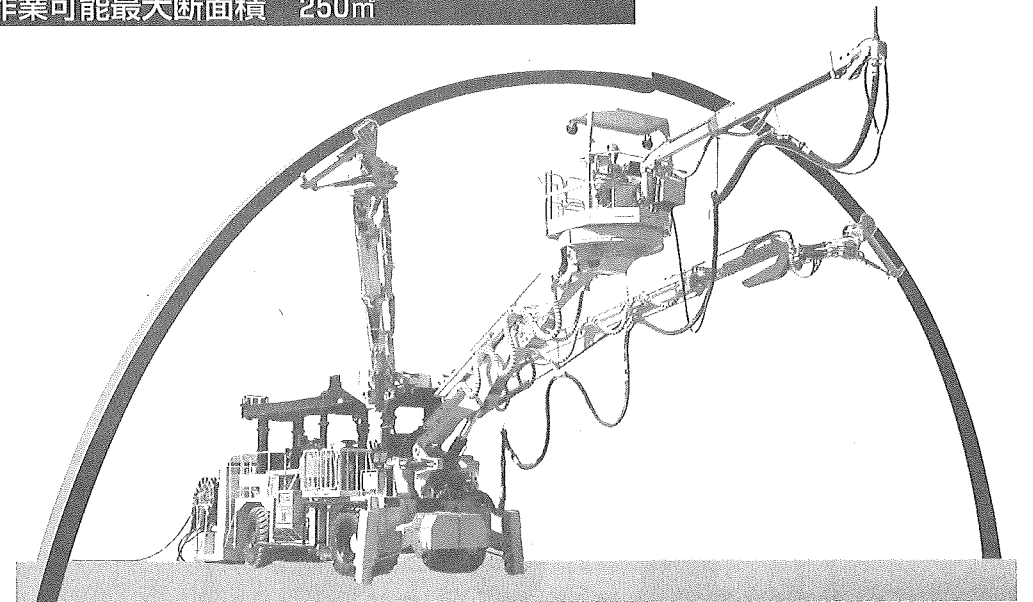


本社●特殊混和材事業部
東京都千代田区有楽町1-4-1 〒100-0006
電話 03-3507-5358

Normet Spraymec 2000 WPC Boomin

大断面トンネル対応型 エレクター機構付コンクリート吹付機

作業可能最大断面積 250㎡



高い生産性

- * 高性能エレクターとコンクリート吹付機を合体させた高機能トンネル作業用ロボット(建て込み可能最大支保工重量 1t、最大コンクリート吐出量 25m³/h;実績)
- * 作業機械(エレクター ⇄ 吹付機)を入れ替えるためのロス時間削減

安全なコンクリート吹付作業

- * 肌落ち等が発生しても安全なプラットフォームでの吹付操作可能
- * 補助ベンチ付全断面掘削工法においても安全・効率的な支保工の建込及び吹付操作可能

液体急結剤対応可

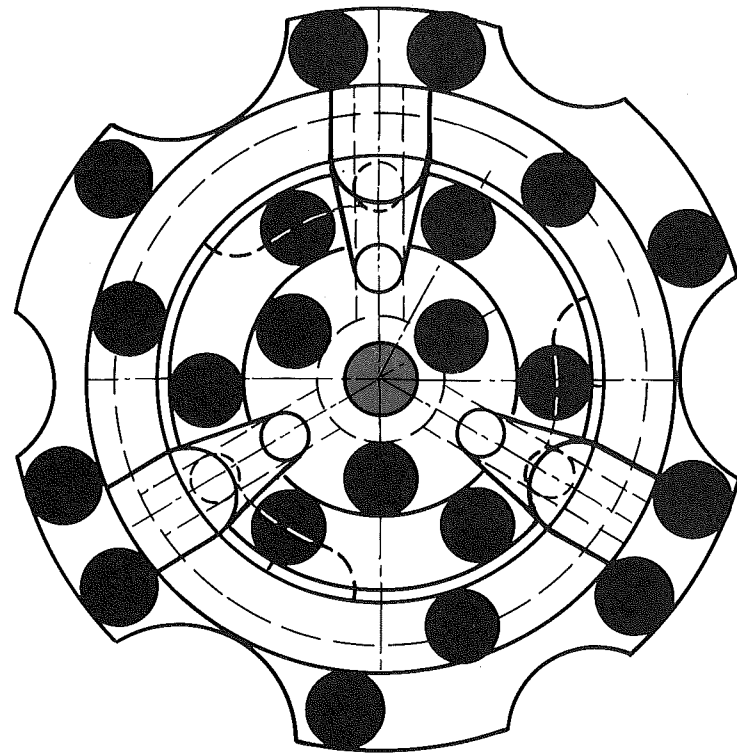
- * 環境にやさしい液体及び粉体どちらの急結剤にも対応可能

normet
Your partner for tough jobs

総発売元
株式会社 ケー・エフ・シー
東京土木営業部
〒105-0014 東京都港区芝2-5-10
TEL: 03-3798-8511
FAX: 03-3798-8516

長尺先受工法 *KAT SYSTEM* による安全かつ合理的施工

KAT-革命



KAT(カット)とは...

Katecs、オーストリアの提携会社Alwag社、Techmo社のパートナー・イニシャルです。

NATMトンネル防水

カテックス スーパーシート

KATECS

吹付けコンクリート用液体アルカリフリー急結剤

MAPEI AFK777J

KATECS

吹付けコンクリート用高性能減水剤

MAPEI X504・X404 シリーズ

KATECS

無拡幅長尺先受工法

AGF-P工法

KATECS

切羽対策工法

Small-P工法

KATECS

ロックボルト孔壁自立工法

ホールキーパー

KATECS

カタログ等お問い合わせは ◆

—日本で生まれ、世界へ広がる。 NATMの補助工法—

株式会社 カテックス 建設資材事業部

本社 ES.グループ 〒460-8331 名古屋市中区上前津1丁目3番3号

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

東京支店 〒112-0014 東京都文京区関口1丁目15番3号

TEL 03-3260-8321

FAX 03-3266-1648

関西営業部 〒550-0005 大阪市西区西本町1丁目6番6号

TEL 06-6578-3235

FAX 06-6578-3237

九州営業所 〒816-0932 福岡県大野城市瓦田4-15-26

TEL 092-574-0856

FAX 092-574-0846

北海道地区 〒003-0011 札幌市白石区中央1条5丁目8番2号

株式会社 H・R・O TEL 011-821-5868

FAX 011-821-6644

degussa.

Construction Chemicals



吹付けコンクリートを実現。
 かつ、耐久性に富む高品質の
 粉じん及びリバウンドを減少させ、

コンクリートの品質向上と材料の安全対策が強く求められる吹付け工事。「メイコSA160シリーズ」はアルカリフリーで、しかも先進の吹付けコンクリート用液状急結剤です。アルカリ分を全く含まないため、作業員に対する安全性が高く、作業環境を飛躍的に改善します。また、単位水量を大幅に低減する湿式吹付けコンクリート用高性能減水剤「NT-1000シリーズ」を併用することにより、さらに付着性と急結性や強度に優れ、はね返りや粉塵量の少ない、品質の安定した吹付けコンクリートの施工を可能にします。

アルカリフリー液状急結剤
メイコ® SA160シリーズ

湿式吹付けコンクリート用高性能減水剤
NT-1000シリーズ

- 高強度化・施工性の改善をするシリカフューム「メイコMS610」
- 湿式吹付けコンクリートの練り置き時間を1~16時間までコントロールする「デルボクリート」

株式会社 エヌエムピー
 株式会社 ポゾリス物産

●本社/東京都港区六本木3-16-26 TEL03-3582-8814(直) FAX.03-3583-3800
 ●支店/東京、大阪 ●営業所/札幌、仙台、宇都宮、千葉、横浜、上越、松本、静岡、名古屋、高松、広島、福岡、鹿児島
 資料進呈/詳しくは、本社UGC営業部または、最寄りの事業所にお問い合わせください。 URL/http://www.nmb-pbk.co.jp



●(株)エヌエムピーは中央研究所と茅ヶ崎工場において、ISO9001およびISO14001の審査登録をしています。

トンネル工事のコストダウンにご利用ください

高効率・低粉じん

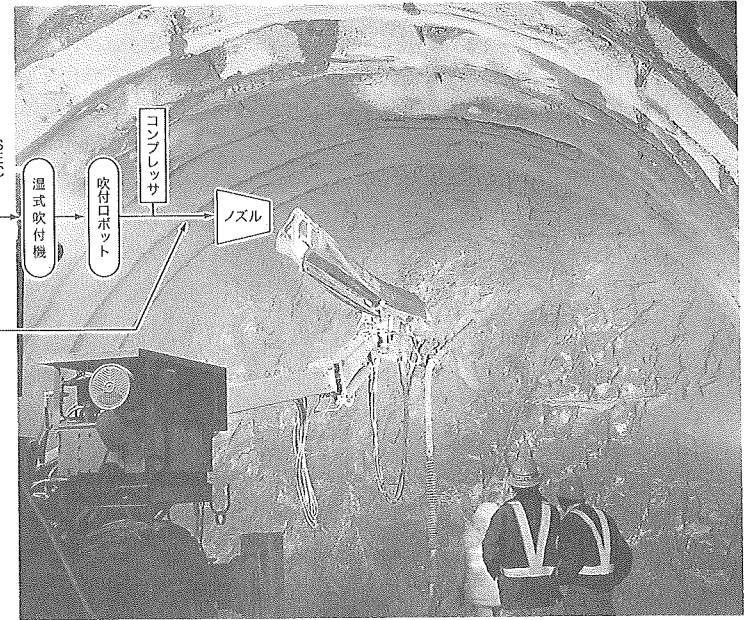
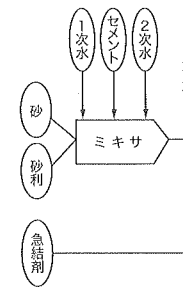
SEC吹付けコンクリート

技術審査証明(平成10年土木研究センター技審証第1009号)

【性能向上のために分割練りをした吹付けコンクリート】

- はね返り率、粉じん発生量は、一括練りに対して10%以上低減
- 材齢28日コア強度は一括練りに対して10%以上強度増

SEC対応
 パッチャープラント



実績

- 湿式吹付け(一般) : 120トンネル
- 高品質吹付け(JRCC) : 90トンネル
- 高強度吹付け(JH) : 3トンネル

SEC®(Sand Enveloped with Cement)は、練混ぜ水を分割投入することにより、低水セメント比のセメントペーストを骨材表面に付着させるコンクリートです。

吹付けコンクリートにとって必要なコンクリートとは、フレッシュコンクリートの条件下で過酷な衝撃(ポンプ圧送圧、空気圧、壁面への衝突圧)に対して材料分離が少なく、適度の粘性を有するコンクリートです。

これを経済的に製造することにより吹付けコンクリートの施工性(はね返り、粉じん、吹付け量、最適急結剤量)が向上します。

SEC コンクリート機械協会がお手伝いさせていただきます。

SEC コンクリート機械協会

正会員	リブコンエンジニアリング(株)	石川島建材工業(株)	(株)東洋製作所	大平洋機工(株)
	(株)北川鉄工所	光洋機械産業(株)	成和機工(株)	石川島建機(株)
	(株)ジーエスケー	日工(株)	名岐機器(株)	丸友機械(株)
特別会員	大成建設(株)	(株)大林組	清水建設(株)	(株)熊谷組
賛助会員	ユアサ商事(株)	(株)ティーエムシー	東友エンジニアリング(株)	T C M(株)
	ケービーシーマシナリー(株)	グレースケミカルズ(株)	(株)ポゾリス物産	(株)西建
	伊藤忠建機(株)	(株)四国イゲタ	新和商事(株)	(株)サンフローパリック
	村上工業(株)	日産機(株)	電気化学工業(株)	

事務局 〒104-0031 東京都中央区京橋2丁目2-15 登亭京橋ビル リブコンエンジニアリング(株)内
 電話 03(3275)8011(代) FAX03(3275)8015 協会 http://www5.ocn.ne.jp/~seckikai/index.htm

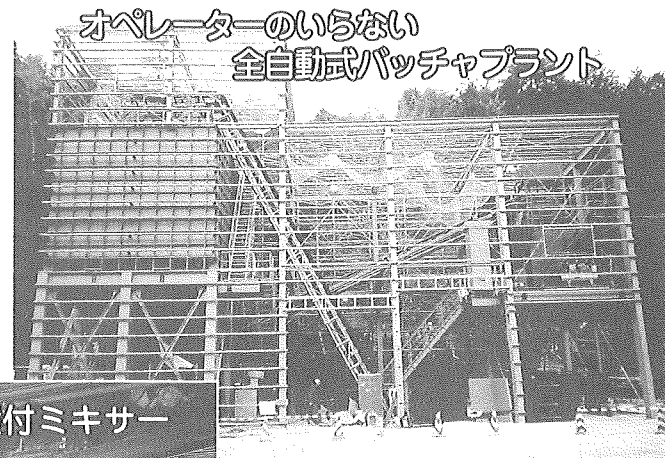
高品質・SEC・高強度対応型 吹付プラント

全自動式 バッチャプラント

吹付コンクリート用

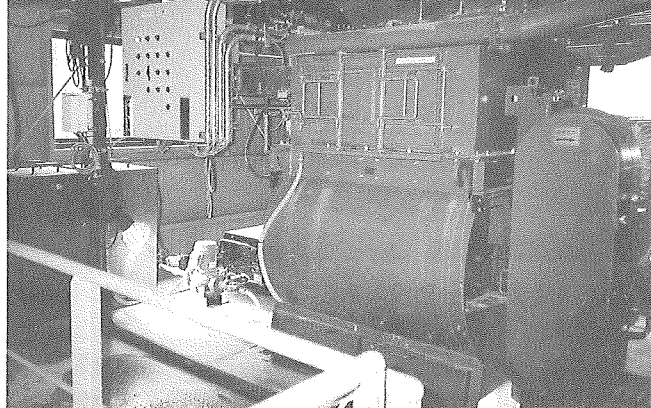
自動スランプ
調整装置

バッチャプラントの水分補正は
名岐の自動スランプに
おまかせ下さい。



オペレーターのいない
全自動式バッチャプラント

伸縮ノズル式自動洗浄装置付ミキサー



MKS-500KBE-TME型

生コン洗浄水処理装置

- ◆ スチールファイバー供給設備
- ◆ 濁水処理プラント (能力 10T/H~100T/H) ユニットタイプ
- ◆ 砕石プラント・産廃プラント・ベルトコンベアー 設計・製作
- ◆ 油圧バケット、特殊クレーン設計・製作
- ◆ ターンテーブル (30ton・重タンク用・40ton通過)

MK 名岐機器株式会社

本社 岐阜県大垣市内原2丁目133-1
〒503-0936 TEL (0584) 89-7885(代)
FAX (0584) 89-3693

本業工場 岐阜県本巣郡本巣町神海
〒501-1235 TEL (0581) 32-5066
FAX (0581) 32-5565

ミキサー洗浄水

トラミキ洗浄水

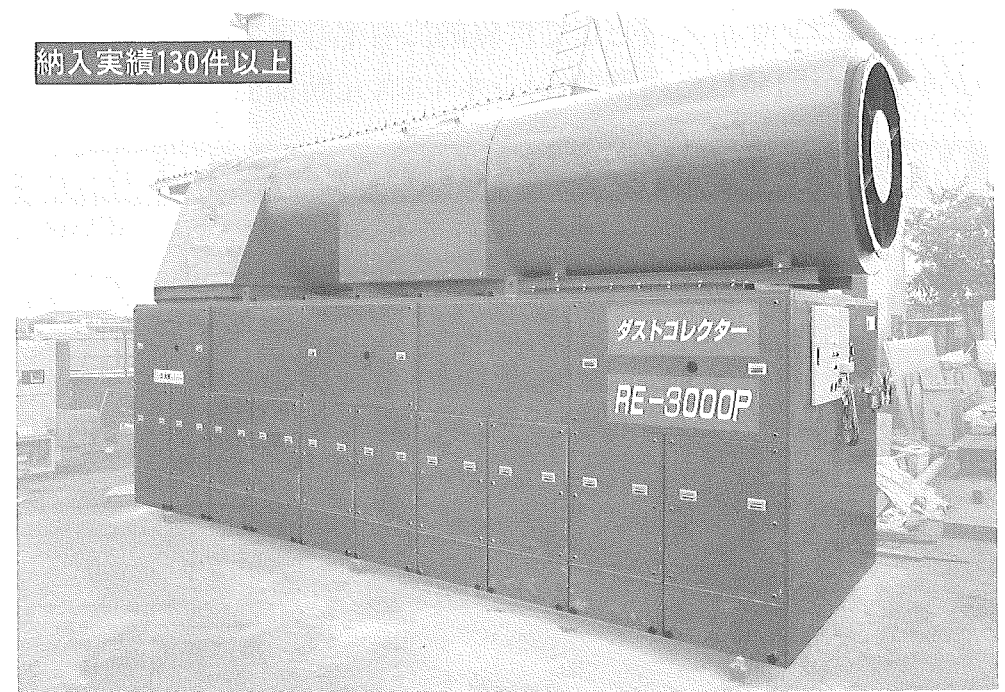
リサイクル

長工期
トンネルに適し
人件費の
大幅削減!

大断面用トンネル集塵機Pシリーズ

環境重視/省エネ・コスト削減

納入実績130件以上



- 送风量より大きい集塵风量で100%捕集・リフレッシュするため、モヤモヤが一気に解消
- 外気と同じ0.1mg/m³以下に清浄化
- 送风量が少なくすむため大幅な省エネ・コスト低減 (電気料金が半分)
- フィルターの自動クリーニングにより24000H (実績) のメンテナンスフリー
- 機側77dB (A) の超低騒音
- 10t車マウントで移動・盛替が簡単

(先端集塵換気システム) バイバック、レンタルで提供します。

機種	処理风量 (最大)	適用断面
RE-1000P	1200m ³ /min (1300)	65m ²
RE-1500P	1800m ³ /min (2000)	100m ²
RE-2000P	2400m ³ /min (2650)	130m ²
RE-3000P	3000m ³ /min (3300)	200m ²

TBM, 小断面用TDシリーズもあります。

株式会社 流機 エンジニアリング

本社 〒108-0014 東京都港区芝5-16-7 (芝ビル)
☎(03)3452-7400代表 FAX.(03)3452-5370
つくば 〒308-0114 茨城県真壁郡関城町大字花田字西山84-6
リースセンター ☎(0296)37-7680 FAX(0296)37-7681

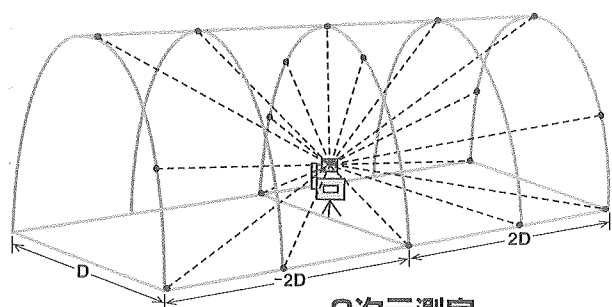
新製品

トンネル3次元形状管理

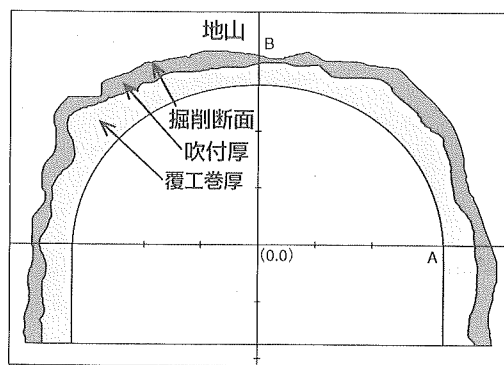
本機は、トンネルコンサルタントとして世界的に有名なアンベルグ社(スイス国)のグループが開発した画期的なトンネル3次元断面測定専用機です。

A. MT. プロファイラー4000トンネル断面測定機

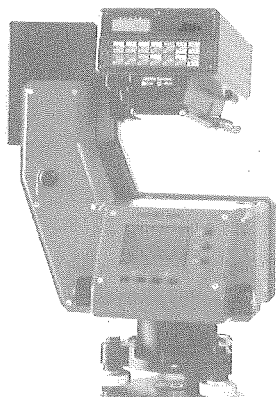
(Patent P.)



3次元測定



測定断面図



(プロファイラー 4000本体)

- トンネル建設における掘削断面・吹付厚・覆工巻厚の管理に最適です。
- 1ヶ所の測定位置で、広範囲(上図 $-2D \sim 2D$)を高密度、高精度($\pm 3\text{mm}$)しかも、独特の機構により測定ポイントに死角がなく測定でき、切羽の様な危険な場所での測定作業が回避できます。
- 3次元測定は、指定した距離程ごとに自動で断面に沿って測定出来るため、巻厚評価のような同一断面での重ね合わせが正確に出来ます。
- 測定から評価まで、日本のトンネル施工管理に合わせて作られた専用ソフトを使用しています。(Windows 対応日本語版)

総代理店

FBK 富士物産株式会社

〒103-0026 東京都中央区日本橋兜町21番7号兜町ユニ・スクエア

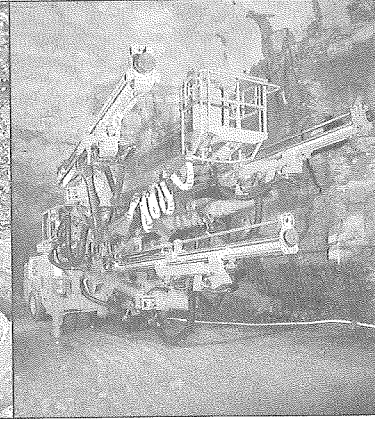
TEL 03(5649)7121 (代)

FAX 03(5649)7125

E-mail: sales@fuji-bussan.co.jp

TAMIROCK

*Your best business partner
in Construction*



TAMIROCK

サンドビック タムロック ジャパン株式会社

〒222-0033 神奈川県横浜市港北区新横浜3-18-20

Benex S-1 10F

TEL. 045-476-4111(代) FAX. 045-476-5531

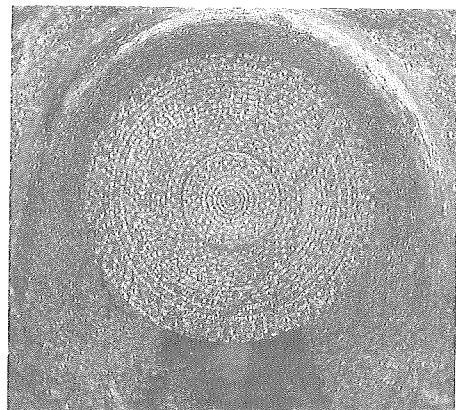
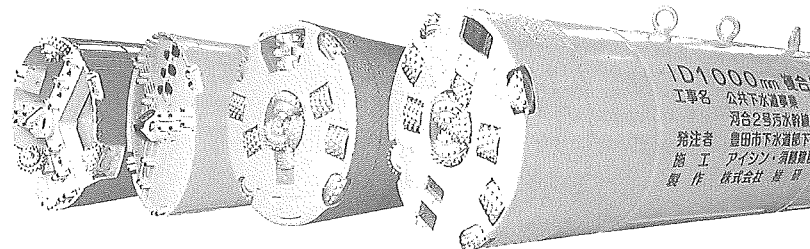
岩盤推進を創めて20年

軟弱土から硬岩まで!!

複合推進工法 (C.M.T工法)

- 800mm~1650mmまで対応
- 機内よりビット交換が可能です。
- 岩盤と普通土との互層土質も施工可能です。
- 長距離曲線推進も可能です。

■ CMT工法で使用される様々なカッターヘッドの一例



C.M.T工法協会
株式会社 推研

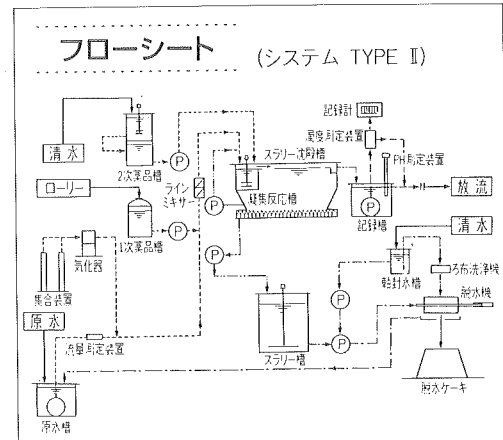
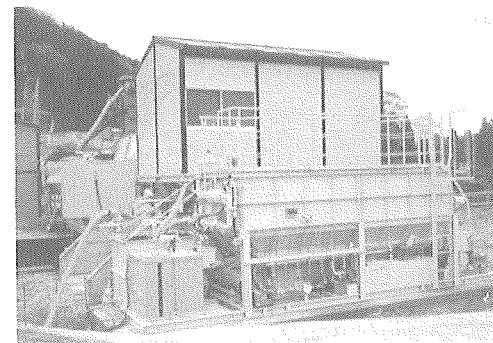
本社 〒547-0002 大阪市平野区加美東4-3-48
TEL 06-4303-6026
FAX 06-4303-6029

研究所 〒569-1044 大阪府高槻市上土室3-29-7
TEL 0726-94-6164
FAX 0726-92-0186

TOWAハイクリーンII

コンパクトながら

大きな処理能力



特長

1. 基礎、土木工事の期間が短く安価である。
設置面積が小さくフラット基礎で設置可能である。
2. 運転経費が少ない。
ラインミキサー及び余剰ガス循環システムの組み合わせにより効率の良い中和が出来炭酸ガス使用量の節約になる。角型シクナー沈降面積及び容積をより大きく設計しており又傾斜板を採用していることから一次、二次薬品が少量でも効率の良いSS処理が出来る。複式汙板型の脱水機を採用していることから汙布等の消費費が少ない。
又、加圧型脱水方式の無薬注で脱水出来る。
3. シクナー内流速を最少にする設計であることより清澄度の高い処理水が得られ、再利用が可能である。
4. 運転管理が容易である。
原水流入に合せた自動運転方式を採用している。パトライトによる異状警報装置を標準装備している。

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

5. 多種多様な原水に対応出来る。
凝集反応槽攪拌機及び集泥用レーキにインバーターを採用し、水量及び濃度に幅広く対応する。
6. 豊富なオプション装置
高分子凝集剤の自動溶解装置
処理水返送装置 (異状警報装置と連動)
炭酸ガス後中和処理装置
鉄除去処理装置 (エアレーション装置等)
スラリー再濃縮装置
脱水助材添加装置
自動汙布洗浄装置

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

詳細資料請求、お問い合わせは

東和工業株式会社総販売店
株式会社フジテック
本社 〒930-0821 富山市飯野12-1
TEL (0764) 52-1616(代)
FAX (0764) 52-1617

東和工業株式会社
〒930-0834 富山市問屋町2-3-5
TEL (0764) 51-3981(代)
(0764) 51-3768 (直通)
FAX (0764) 51-0964

Towa: Waste Water Treatment System

大丸の防音システム

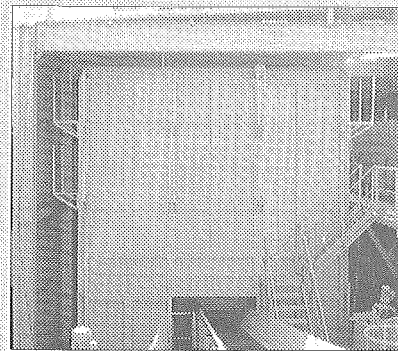


サイレントハウス(Bタイプ)

- 工期の早い標準型
- 音源対策から大型プラントまで

コスモス (Cタイプ)

- 防音効果が最大
- 環境問題の解決に



VLFシステム

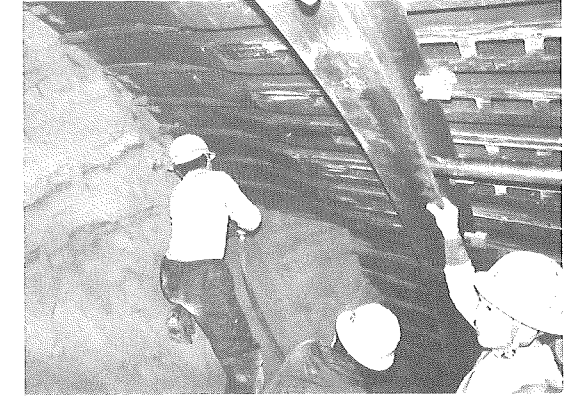
- 超低周波音対策に
- 16Hzで-26dB (実績)

DMR
Daimaru

設計・施工 東京都知事許可(般-13)第76001号 鋼構造物工事業
建設コンサルタント登録 建13第5745号
大丸防音株式会社

本社 〒104-0042 東京都中央区入船1-3-9 長崎ビル2F
TEL.03-3537-6700 (代表) FAX.03-3537-6701
営業所 〒564-0062 大阪府吹田市垂水町3-28-16 オーベクスビル
TEL.06-6821-6151 FAX.06-6821-6477

アーストンネル掘削工法に最適 SS式メッセル



30年の実績 (工法指導致します)

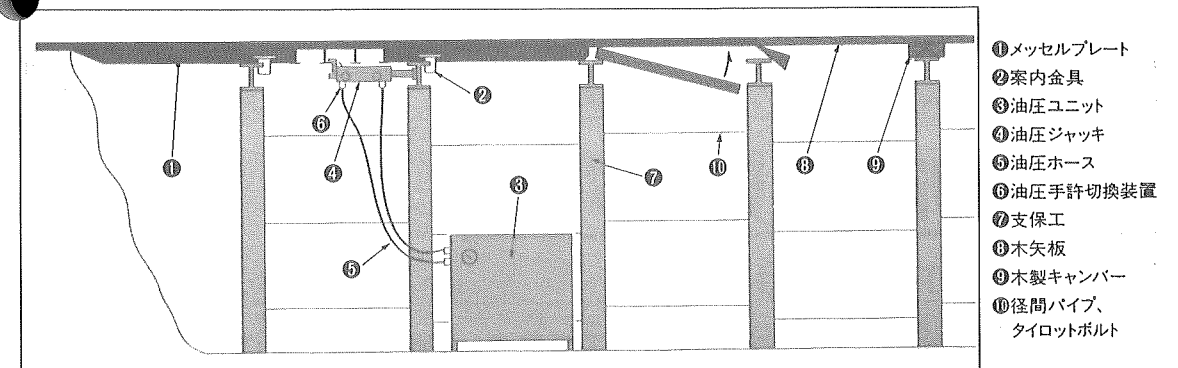
■特長

- メッセルプレートにより内部が保護されているので、地山の肌落ちがなく安全です。
- 余堀が非常に少なく、地山の弛みもなく、地表面の沈下がない。
- メッセルプレートと特殊な案内金具との組合せにより、メッセルの離脱及びブレードダウンを防止する構造になっている。直線・曲線掘進に適應します。

■実績

- メッセル工法に使用される断面は、支保工の形状に従って、円形・角形・アーチ形・馬蹄形、のいずれでも自由に選べます。
- 実績では、JR等線路直下横断工事、トンネル(鉄道・道路・下水道・共同溝)などに多数の実績をもっています。

メッセル工法概略図



SHINOHARA CO., LTD.

〒102-0072 東京都千代田区飯田橋4丁目4番5号(ポンピアンビル) TEL.(03)3263-7457 FAX.(03)3262-0915 本社営業部

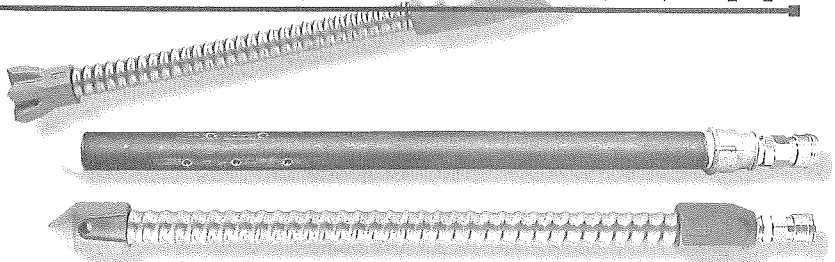
ユニークな発想と高品質・自信の価格

住友電工(株)の社員ベンチャー第1号として設立された、同社直接関連会社です。

AGF-SP工法

- ・ 高速、省力、経済的
- ・ 削孔ロッドを回収せず
独自技術の注入方式
- ・ 支保効果の向上

自穿孔SPアンカー&注入管



種類	形状		降伏耐力 (tonf)	破断荷重 (tonf)	在庫定尺	
	外形形状	内径				
SP アンカー	自穿孔ロックボルト & 自穿孔式注入管	R29	φ13	20	>26	3m、4m
		R32	φ17	20	>26	3m、4m
		R38	φ16	40	>50	4m
		R51	φ31	60	>80	※
		R73	φ53	80	>100	※
鋼管式注入管		φ27.2	φ15	16	>22	3m、4m

※は受注生産

トンネル内装磁質タイル

(100角二丁・二丁掛け)

KIMHIN CERAMICS, 上海社
(財)土木研究センター認証取得済



エスティーエンジニアリング株式会社

ST ENGINEERING CORPORATION

〒581-0869 大阪府八尾市桜ヶ丘3丁目101番地

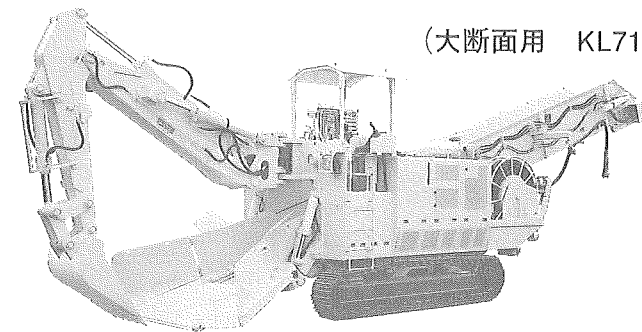
TEL.0729-90-0250 FAX.0729-90-0251

E-mail: steng@kawachi.zaq.ne.jp

トンネル 急速施行の最新鋭機!

KEMCO Schaeff ロータ

ドイツの特殊建機専門メーカーKarl Schaeff社とコトブキ技研工業(株)が、締結した技術提携に基づき製作・販売されるもので国内のニーズに応え、開発された新方式のずり積込機です。トンネル工事(断面積5~150㎡)又、碎石現場、道路工事等幅広く活用でき、作業能率の向上に威力を発揮。

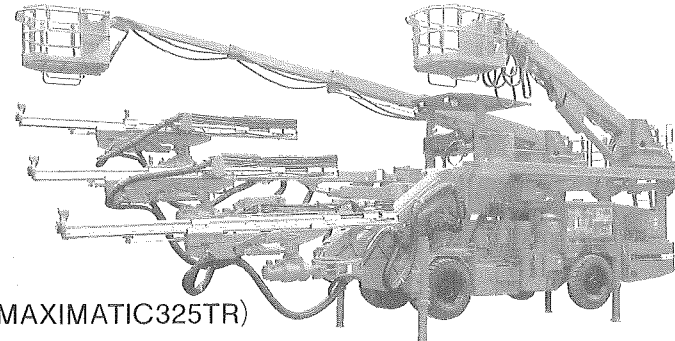


(大断面用 KL71)

型式	KL7	KL20	KL41	KL41CN	KL71
適用ずり取り断面	5~12m ²	10~30m ²	30~80m ²	30~80m ²	30~100m ²
油圧パワーバック	30kW×1	45kW×1	90kW×1	90kW×1	110kW×1
コンベア能力	70m ³ /h	150m ³ /h	300m ³ /h	250m ³ /h	450m ³ /h
重量	8.5TON	13.0TON	27.5TON	27.0TON	35.0TON

KEMCO TAMROCK 油圧モービル・ジャンボ

フィンランドTAMROCK社の高度な技術と、日本の岩石と戦って半世紀の歴史を持つKEMCOのノウハウが、コンパクトな油圧モービルジャンボを完成。小断面用レールジャンボから、ミニベンチ対応の3ブーム2バスケット油圧モービルジャンボSUPER326GRまで各種販売。



(大断面用 MAXIMATIC325TR)

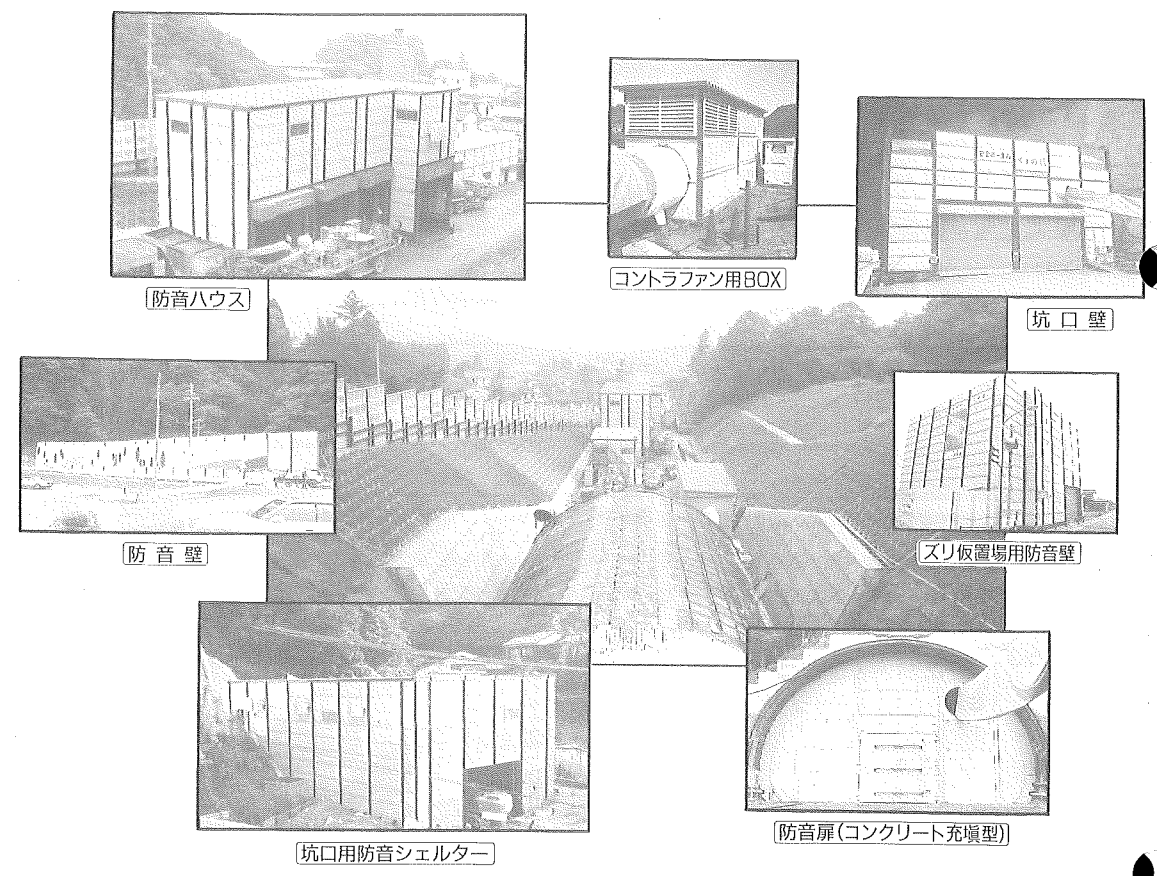
型式	RMH205	MH215TR	MAXIMATIC325TR	SUPER325GR
適用掘削断面	4~40m ²	16~100m ²	25~110m ²	25~139m ²
油圧パワーバック	45kW×2	45kW×2	55kW×2.45kW×1	55kW×2.45kW×1
エンジン出力	—	180PS/2,200rpm	160PS/2,300rpm	160PS/2,300rpm
重量	13.0TON	31.0TON	42.0TON	42.0TON

コトブキ技研工業株式会社

建設機械事業部

■本社 〒160-0022 東京都新宿区新宿1-8-1 大橋御苑ビル2F ☎03(3226)3366
 ■広島営業所 〒737-0191 広島県呉市広白岳1-2-2 ☎0823(74)5141
 ■支店/大阪 ■営業所/札幌・東京・名古屋・松山 ■福岡営業所 ☎092(471)8819
 ■広事業所 ☎0823(73)1134
 * URL: http://www.kemco.co.jp/

快適な環境と理想的作業空間を創造



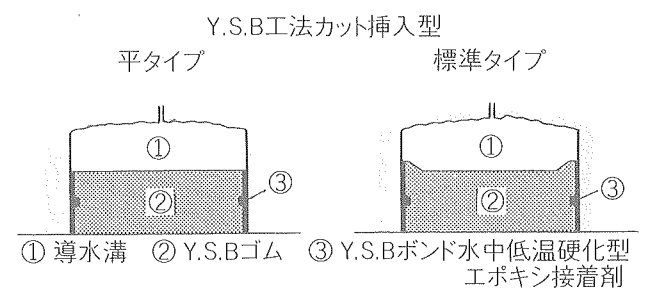
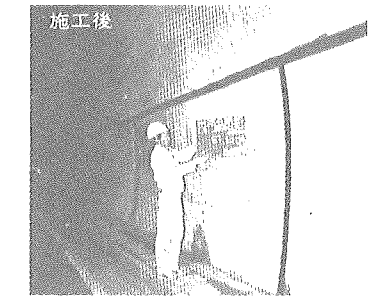
リース・レンタルに関し、ご相談下さい。



◆計量証明事業登録 騒音レベル 第913号 ◆建設業登録 とび・土工工事業 第75054号
ヒューズ工業株式会社
 FUSE INDUSTRIES CO., LTD.

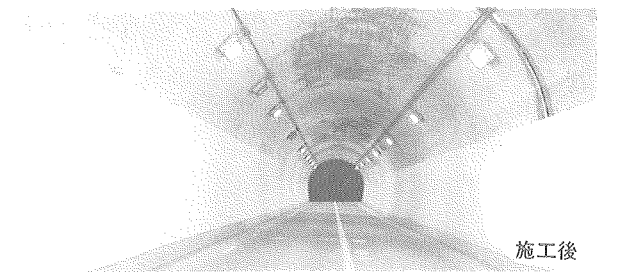
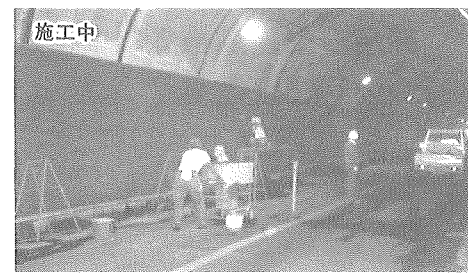
本社 〒132-0035 東京都江戸川区平井 6-35-5 HFビル TEL 03(3617) 8111 FAX 03(3617) 7565
 大阪営業所 〒531-0072 大阪府大阪市北区豊崎 3-4-14 ショーレイビル TEL 06(6359) 2611 FAX 06(6359) 2288
 つくば資材センター 〒304-0824 茨城県結城郡千代川村大字村岡 998-1 TEL 0296(30) 7888 FAX 0296(30) 7655
 URL <http://www.fuse-ind.co.jp> E-mail info@fuse-ind.co.jp

トンネル漏水、氷結防止工事Y.S.B工法



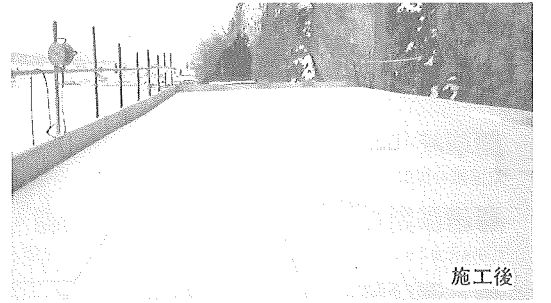
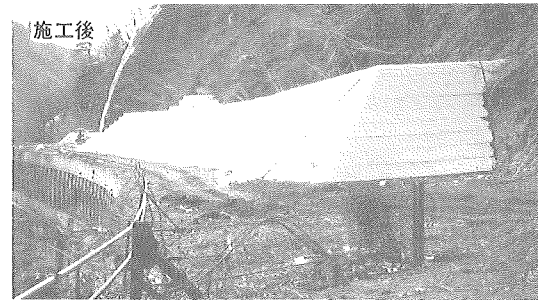
難燃性のある、クロロブレン系独立気泡スポンジゴム(Y.S.Bゴム)を用いて導水路を形成し、側溝など排水路へ導水するのがこの工法で、「漏水」「氷結」のあるトンネルの防水、導水工事には最適です。またトンネル壁面照度向上塗装前の水処理には、カット挿入型が欠かせません。

トンネル壁面塗装 Y.T.P-SF工法 PAT第2592956



常乾型フッ素塗料を用いて、トンネル内の照度、洗浄拡散反射率を向上させ、トンネル内の安全性を飛躍的に増大させます。Y.T.P-SFは塗装面の表面張力が低くなるように作られており、水を弾く力が非常に強くなっているため、塵が付着しにくく、水洗いだけでもとの光沢になります。

ロックシェッドの荷重軽減構造 PAT第2124291



ロックシェッド上の敷設土に、比重の軽い発泡体ブロックやハニカム構造体を、組み上げ又は発泡させて、岩石崩壊からロックシェッド・スノーシェッド・トンネル坑門部等の構造物を、保護する工法を考えました。



株式会社 吉澤総合防水

関東連絡事務所 〒270-0021 千葉県松戸市小金原8-16-14 TEL(0473)45-5866 FAX(0473)46-6858
 〒390-0851 長野県松本市大字島内3487-17 TEL (0263) 47-5281 FAX (0263) 47-2018

その先まで光が届く。
一台ですべてこなせる高機能。

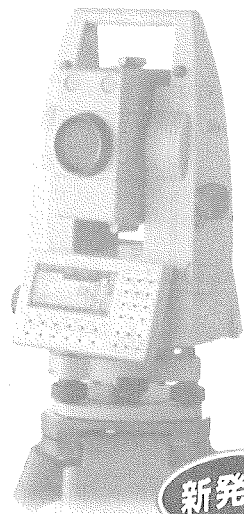
ノンプリズム測距200m

簡単操作の自動視準機能*1

高速自動追尾機能*1

世界最軽量 6.1kg*2

*1:TCRAタイプ*2:モーター駆動タイプとして、2001年4月現在。



新発売

国土地理院認定2級オートスターション

自動視準・自動追尾・ノンプリズムオートスターション

TCRA1103XR

¥3,100,000

◎価格は、本体および標準付属品のみを指し、また消費税は含まれておりません。

Leica
Geosystems

トンネル内の全測量業務をこなせる高機能に加え、
測距200mを達成したノンプリズム機能を搭載。

トンネル施工時や近接施工管理として実施される内空変位計測・内空断面測定を、
計測から出力まですべて自動化。トンネル内での測量業務がすべて自動で行えます。
さらに、長いトンネル内でも測量作業を素早く進められるよう、ノンプリズムの測定範囲
を200mまで拡大しました(XRangeオプション)。作業のスピード化や効率化はもちろん、
機材経費および人権費用の節減に大きな効果をもたらします。

簡単操作の自動視準機能

望遠鏡の視野にターゲットを入れ、ボタンを押すだけで精密自動視準。(TCRAタイプ)

高速移動にも対応する自動追尾機能

100m先を25m/秒(時速90km)で移動するターゲットを追尾可能。(TCRAタイプ)

持ち運び軽快な世界最軽量*ボディ

モーター駆動世界最軽量*を誇る6.1kgのボディ。フットワークも抜群。*2001年4月現在

ライカ ジオシステムズ株式会社

本社 〒113-6591 東京都文京区本駒込2-28-8 文京グリーンコート Tel.03-5940-3020 Fax.03-5940-3056
テクニカルセンター 〒113-6591 東京都文京区本駒込2-28-8 文京グリーンコートB1F Tel.03-5940-3035 Fax.03-5940-3059
大阪支店 Tel.06-6910-3871 / 福岡営業所 Tel.092-432-8201 / 札幌出張所 Tel.011-669-1101

トンネル工法の革命児・アトム

PC-ATM

ピーシーアトム
Pre-Cast Arch Tunnel Method

アトムは21世紀を築き上げていく
アーチトンネル工法です。



PC-ATM PC-ATM 研究会

事務局 〒100-0006 東京都千代田区有楽町1-12-1
石川島建材工業(株)内 TEL(03)5221-7325 FAX(03)5221-7296

三井物産(株)	TEL(03)5251-2640	丸藤シートパイル(株)	TEL(03)3242-7658
岡三リビック(株)	TEL(03)5442-2400	興建産業(株)	TEL(03)5281-1211
マシノ工業(株)	TEL(082)233-0111	栃木コンクリート総業(株)	TEL(0282)92-7130
石川島建材工業(株)	TEL(03)5221-7325		

電力・通信ケーブル用多糸保護管

Kanaflex
ISO9001
認証取得

カナパイプPV型

トンネル内埋設工事を
省力化・効率化

用途

- トンネル・道路・橋梁
- レジャー施設
- 電線共同溝 (C.C.BOX)
- 大規模プラント

難燃ポリエチレン製の多糸ユニット(定尺5m)
ワンタッチで管路接続、作業性抜群です。
配管間隔が狭い省スペース施工に威力を
発揮します。

カナフレックスコーポレーション 株式会社

東京本社 〒107-6024 東京都港区赤坂 1-12-32 アーク森ビル 24F TEL (03)3584-5111 FAX (03)3584-5220
大阪本社 〒530-6017 大阪市北区天満橋 1-8-30 OAPタワー 17F TEL (06)6881-0776 FAX (06)6881-0760
札幌営業所 TEL (011)271-8770 仙台営業所 TEL (022)792-3055 横浜営業所 TEL (045)241-7511 新潟営業所 TEL (025)226-5111
静岡営業所 TEL (054)275-2258 金沢営業所 TEL (076)234-5660 名古屋営業所 TEL (052)955-1511 神戸営業所 TEL (078)360-6173
広島営業所 TEL (082)240-0609 高松営業所 TEL (087)861-4600 福岡営業所 TEL (092)474-2630 鹿児島営業所 TEL (099)224-8404

直営工場 北海道工場 仙台工場 栃木工場 千葉工場 滋賀工場
愛東工場 広島工場 四国工場 九州工場



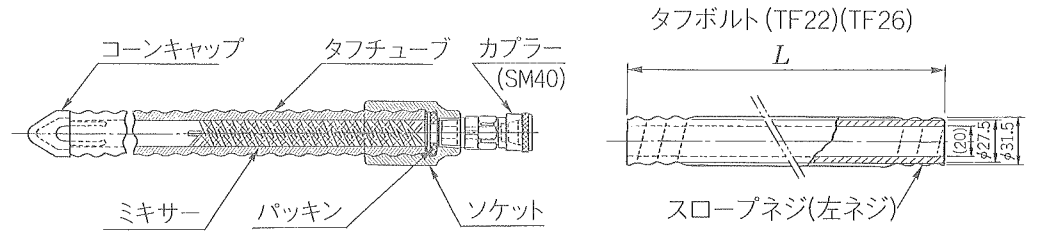
トンネル、法面補強および擁壁補強らに貢献する

TFTの中空ロックボルト

新製品 タフボルトTF22(タフチューブ)でコスト削減を!

TFTタフボルトの特徴

1. 種類が豊富……目的に適った合理的な材料を選択できることにより大幅なコストダウンが可能。
2. 自穿孔、注入管(フォアパイリング等)の何れにも使用可能。
3. 最大6mまでの長尺が可能。
4. 孔径が大きく施工性が良い。



タフボルトシリーズ主要諸元

種類	外径 (孔径) mm	引張り荷重 Tf	降伏荷重 Tf
タフボルト TF32 (自穿孔型ボルト)	φ34.0 (φ20)	32以上	25以上
タフボルト TF26 (自穿孔型ボルト)	φ31.5 (φ20)	26以上	20以上
タフボルト TF22 (自穿孔型ボルト)	φ31.5 (φ20)	22以上	18以上
タフチューブ (注入ボルト)			

TFT 株式会社 ティーエフティー

〒220-0051 横浜市西区中央一丁目29番16-402号
TEL 045-320-1701 FAX 045-320-1702

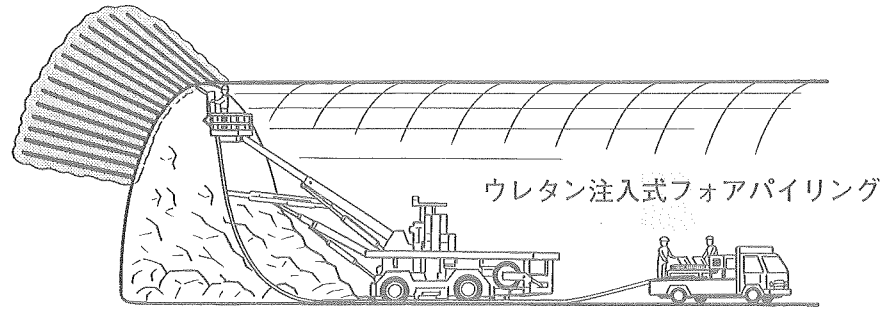
BRIDGESTONE

厳しい条件下の施工に
迅速な対応・信頼の
ブランド

ブリヂストンのトンネル資材

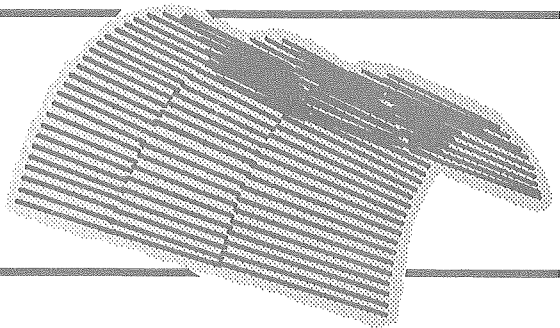
切羽の安定化対策用補助工法

エバーライトGK工法 ウレタン注入式岩盤固結工法

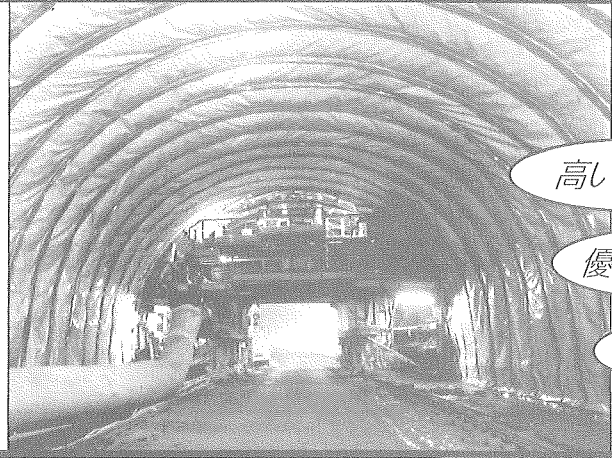


ウレタン注入式フォアパイリング

注入式長尺先受工法
(AGF工法)



ナトミックシート トンネル用防水シート



高い防水性

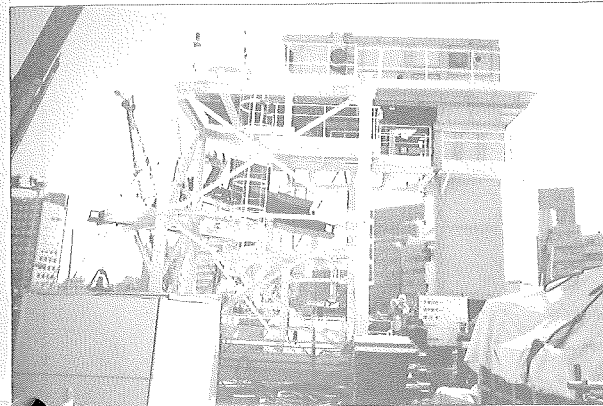
優れた耐久性

容易な施工性

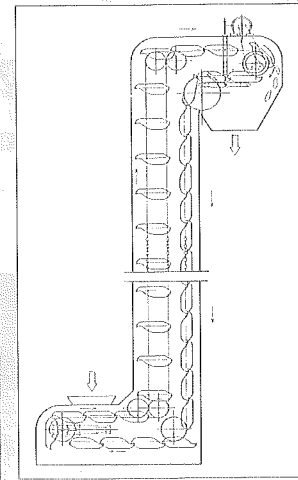
株式会社ブリヂストン

土木・海洋商品販売部
東京都中央区京橋1丁目10番1号 〒104-0031
電話 東京(03)5202-6873

大深度地下、日本未来地図がソコにある。



建ち並ぶ高層ビル、網の目のような道路。日本の首都圏は、すでに飽和状態。新世紀の幕開けとともに注目を集めているのは、可能性に満ちた大深度地下。交通、通信システムはもちろん、ライフラインなど主要な都市機能は地下都市へ、さらに海底都市へと導かれ、新たな空間を創造する——高性能ロボットが誕生する現代、その構想は決して夢の話ではなく、実現へ向けた技術も革新的な進歩を続けています。ETNトレイリフターもそのひとつ。水平・垂直・水平連続搬送という画期的なコンセプトで地下深くへ延びる掘削作業を強力にサポート。



シールド工法、トンネル(T.B.M.・ナトム)工法に最適な技術を御約束致します。スピード、能力・低コストに協力できるものと確信致します。
(最大能力 1500t/Hまで実績済み)

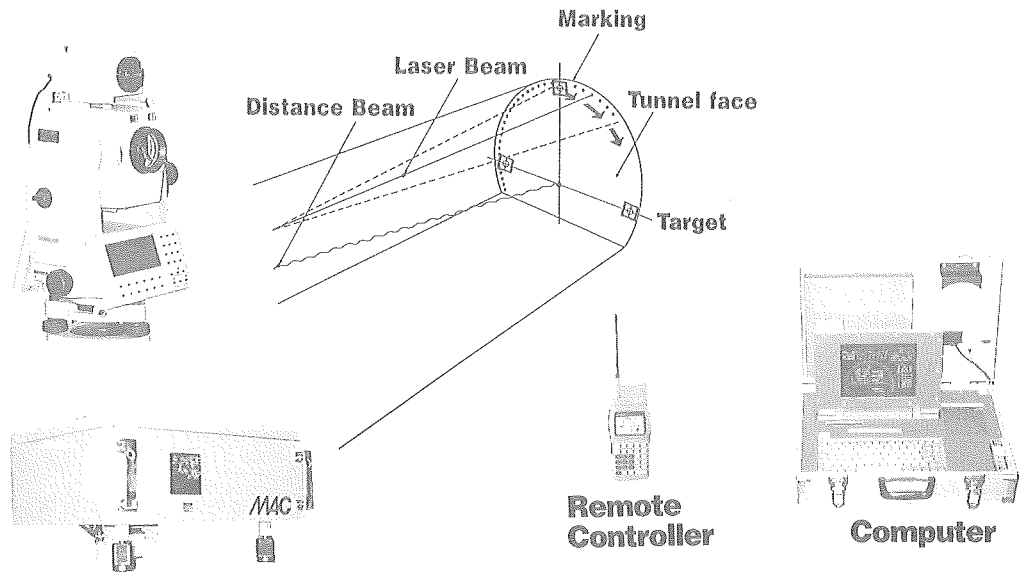
エターナルエンジニアリング株式会社

〒135-0042 東京都江東区木場2-18-14 妻恋木工第3ビル3F
TEL.03-5245-8203 FAX.03-5245-8204

営業所 大阪・福岡

切羽面へのスプレーペイント? もう不要です。 レーザープロジェクターシステム

国内、海外特許取得済み



◆高速レーザー照射による残像照射機能

削孔時だけでなく、コソク時まで残像照射。覆工コンクリートの20%程度減少の実績が報告されています。特にカーブ区間での効果は絶大です。

◆ノンプリズム測距機能

切羽面の進行、押し出しをノンプリズムで計測。もちろん断面測定も全自動で行います。

◆全自動内空変位測定機能

設定された時刻に内空変位を自動計測。トータルステーション+メモリーカードによる従来通りの可搬式の計測も可能です。

◆すべての操作をリモートコントロール可能

夜勤用簡易モード付のリモコンで、どなたでも簡単に切羽のレーザーを見ながら操作できます。また、坑内電話回線等を通じて事務所からの操作および切羽進行、変位データ収集も可能です。(オプション)

シールド、TBMの自動測量も多数の実績を持つ当社へお問い合わせください。

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

(販売元)

古河ドリルテック株式会社
伊藤忠建機株式会社
エヌアイ建機株式会社

自削孔 NTロックボルト PAT.P

特 徴

- 自削孔：削孔時には、ビットとロッドの役割をなし、削孔後には、中空ロッド内からグラウト材を充填し、完了するもので、中空ロッド自体がロックボルトの役割をなす。
- 施工性：スイベルスリーブを使用し、グラウト材をフラッシングとして、削孔すれば、削孔完了が注入完了となり、施工性が大幅に上昇する。
- 左ネジ：削孔時のズリ排出が容易。
グラウト材との付着が良く引抜き抵抗が高い。
全長左ネジで、カップリングで接続でき、長尺ボルトの
- 多様化：適応地山、使用目的に適応した4種類のロックボルト
ある。

打設が可能。
と各種ビットが



NTロックボルト本体仕様

種 類	RB-30	RR-32	RA-40	FP-73
材質及び形状	特殊鋼、台形ネジ	特殊鋼、ローブネジ	特殊鋼、台形ネジ	特殊鋼、台形ネジ
寸 法	28.5D*11d(P13.0)	31.0D*16d(P12.7)	39.6D*18d(P13.0)	72.0D*54d(P8.0)
重 量	3.5kg	3.5kg	6.6kg	12.5kg
耐 力	≥19 tf	≥19 tf	≥35 tf	≥60 tf
破 断 荷 重	≥25 tf	≥25 tf	≥50 tf	≥80 tf

製 造 元



日 東 鐵 工 株 式 有 限 公 司

本 社 〒142-0043 東京都品川区二葉4-1-20 MC中延ビル
TEL 03-5702-0161(代表)
FAX 03-5702-0165
中国営業所 〒700-0824 岡山県岡山市内山下1-5-11 YAF内山下ビル
TEL 086-234-4800
FAX 086-234-4400
相模原工場 〒229-1112 神奈川県相模原市宮下1-1-38
TEL 042-773-4111(代表)
FAX 042-774-0939

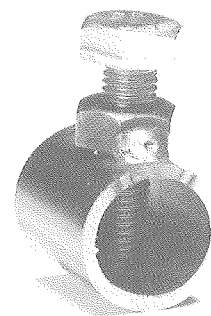
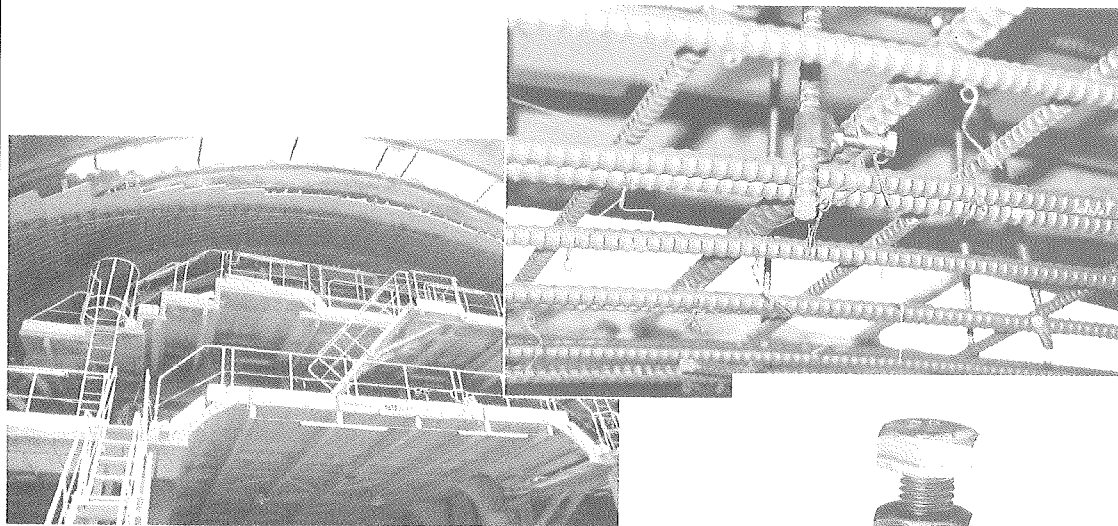
コストダウンを可能にするKリング

特許出願中(特願2001-309314号)

トンネル工事におけるインバート、アーチ鉄筋組立金物

トンネル施工時の覆工工事における、鉄筋補強工事は、坑内上部・壁部にアンカーを打ち、そのアンカー筋に段取り筋を溶着し、それにアーチ筋を取り付けていましたが、“防水シートを焦がす”、“塵肺作業である”、“作業効率が悪い”等問題点が指摘されていました。

当社開発のKリングを使用することにより、スピードアップ、コストダウンを可能にすると同時にこれらの諸問題をすべて解決することができました。



■Kリングはボルトで締め付けるだけなので誰にでも施工が可能です。(トルクレンチ使用)

■Kリングでの施工は、溶接を使わぬため、塵肺等の危険性がありません。

■Kリングは、低コストであり覆工工事のコストダウンが可能となります。

■Kリングでの施工は、溶接機の段取りなど不要となるため、作業のスピードアップが可能となります。

■Kリングは、トルクレンチを使用して取り付けるため、一定の締め付け強度を保つことができ、安全です。

※異形鉄筋、丸鋼、全ネジ鋼とどれにでも対応できます

Sサイズ：
アンカー鉄筋 φ16～19mm専用
Mサイズ：
アンカー鉄筋 φ22～25mm専用

製造・販売元

KTK ケーティーケー

本社 〒436-0342 静岡県掛川市上西郷765-1
TEL. (0537)24-5988 FAX. (0537)24-3859

さらにパワーアップ!

全断面对応中硬岩用トンネル掘進機

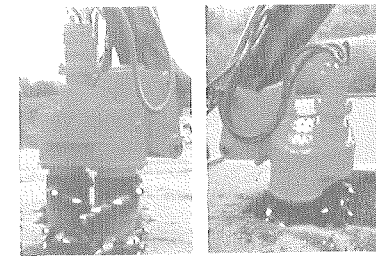
ロードヘッド SLB-300S型



特長

1. 最大8.8mの掘削高さで、新幹線、高速道路トンネルの全断面掘削が可能。
2. 300kW:2速切換型電動機の採用により、広範囲の岩種に対応可能。
3. ピック先端に高圧水を散水させ、ピック冷却と粉塵防止。
4. 運転操作に優れ、全操作がリモートコントロールで運転可能。
5. モード切換式パワーコントロール装置により岩質、運転状況に応じて作動設定の変更が可能。
6. ケーブルリール装置により、電源ケーブルの取扱いが容易で移動が迅速。

ツインドラム式掘削により
綺麗な仕上り!
ツインドラム式トレンチャー
(溝掘削機)
TR-600型
TR-1000型



製造元 販売代理 ミイケ機材株式会社 本社/〒132-0021 東京都江戸川区中央1丁目13番19号
TEL. 03-3241-4711 FAX. 03-5678-4105

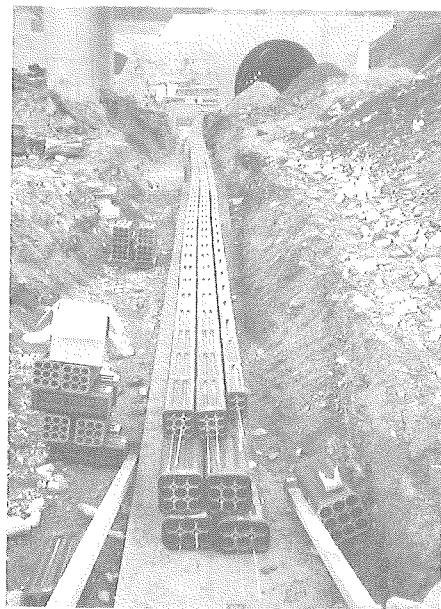
札幌営業所 TEL. 011-644-9110 FAX. 011-644-9125/仙台営業所 TEL. 022-247-7155 FAX. 022-247-7560
新潟営業所 TEL. 0258-47-1085 FAX. 0258-47-1290/大阪営業所 TEL. 06-6308-1090 FAX. 06-6306-2881
福岡営業所 TEL. 0944-59-6201 FAX. 0944-59-6202

製造元 株式会社 三井三池製作所 本店/〒103-0022 東京都中央区日本橋室町2丁目1番1号 三井ビル2号館
TEL. 03-3270-2006 FAX. 03-3245-0203

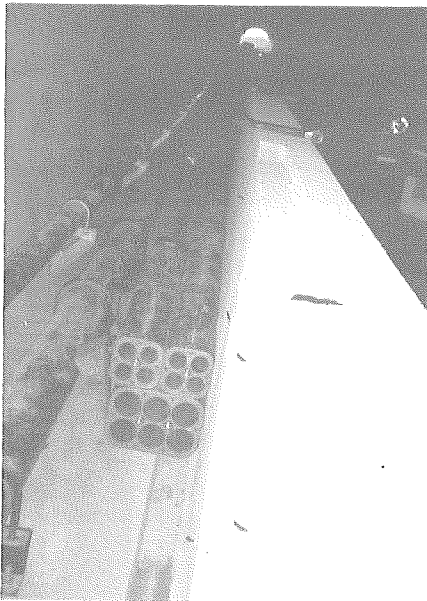
http://www.mitsumiike.co.jp E-mail koken@mail.mitsumiike.co.jp

安全・高能率な掘削を実現!

永久施設に永久管路



▲ 宇治トンネル (日本道路公団)



▲ 関南トンネル (日本道路公団)

地下ケーブルの保護に
杉江の多孔陶管

セラダクト

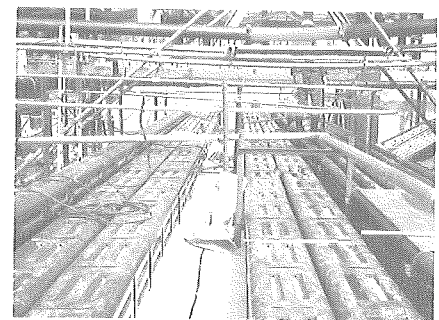
燃えない 錆びない 壊れない

地中配線管路材 (JIS C 3653)

トンネル内の狭い空間の
多条数のケーブル布設に
最適な管路です



▲ 川越火力発電所 (中部電力株)



▲ 広野火力発電所 (東京電力株)

狭い空間(トンネルetc)での制約された条件下でも施工が簡単、迅速に行える、杉江の“多孔陶管”は多条数ケーブル布設に最適です。予備孔も安価に設けられる等、管路省力化工事に是非お役立て下さい。

 杉江製陶株式会社

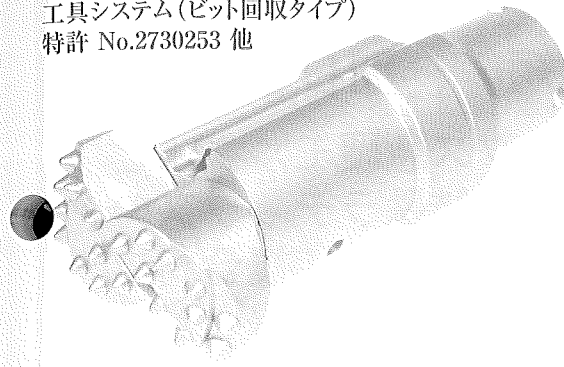
本社・工場 愛知県多郡武豊町字上山1-76 ☎470-2387 ☎(0569) 35-2360(代) FAX (0569) 35-4087
 東京支店 東京都渋谷区恵比寿1-21-8 ☎150-0013 ☎(03) 3442-6181(代) FAX (03) 3442-1691
 大阪支店 大阪市都島区御幸町1-3-1 ☎534-0012 ☎(06) 6922-6991(代) FAX (06) 6922-2498
 札幌連絡所 札幌市北区新川2条10丁目575-28 ☎001-0922 ☎(011) 763-8907(代) FAX (011) 763-8790

MITSUBISHI DIABIT
地山の維持・補修用工具システム

☆玉石・軽石混じり砂礫層掘削に威力を発揮!! ☆掘削しながら同時にケーシングが挿入できる!!

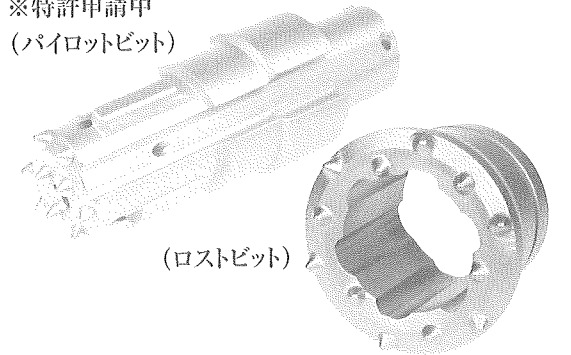
スーパーメックスビット

工具システム(ビット回収タイプ)
特許 No.2730253 他



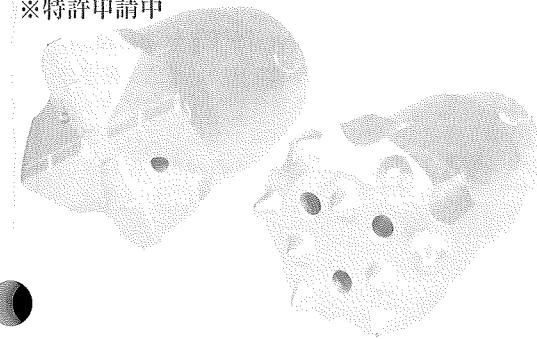
ウルトラメックスビット

工具システム(アウタービットロストタイプ)
※特許申請中
(パイロットビット)



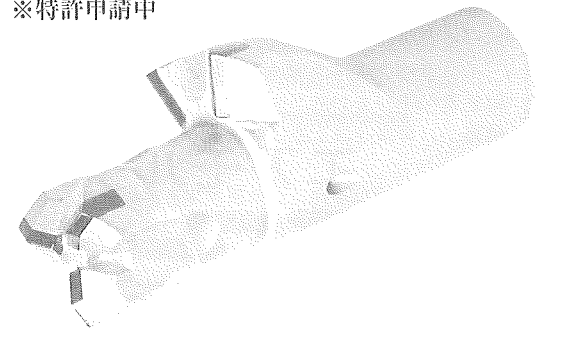
スモールP用ビット

工具システム(ロストビットタイプ)
※特許申請中



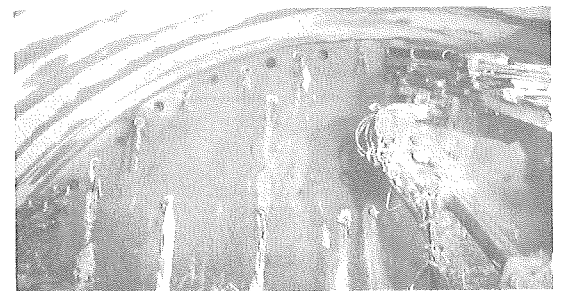
かん太郎ビット

工具システム(ビット回収タイプ)
※特許申請中



主な用途

- トンネル..... 鋼管先受け工
水抜きボーリング
- 法面..... アンカー
水抜きボーリング
鏡ボルト
鏡補強
- 基礎..... 地盤改良
- 調査..... ボーリング



注入式長尺先受工法 (AGF工法)

三菱マテリアル

東北支店 ☎022-295-1260 東京支店 ☎03-5819-5263 岐阜駐在 ☎0584-27-5082
 大阪支社 ☎06-6538-5146 九州営業所 ☎092-504-0032 海外グループ ☎0584-27-5011

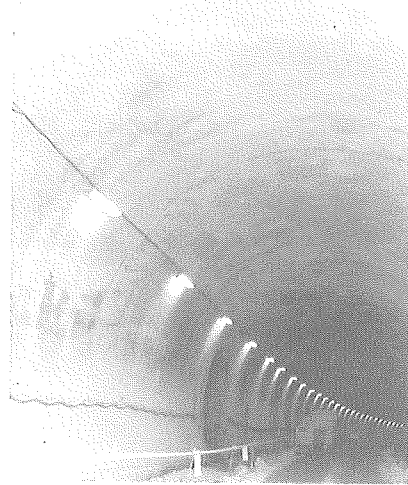
コンクリートの劣化、欠陥箇所の改修、補修……

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。

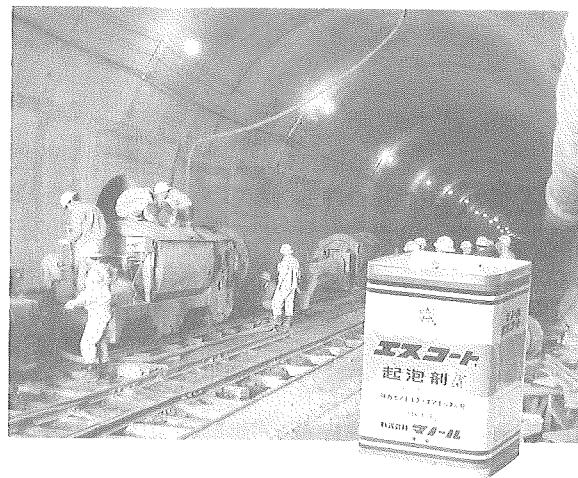


- 短時間で高強度，即日仕上り
- 強力な接着力と収縮，ヒビ割れ防止
- 防水性，防錆力に優れ，中性化防止
- 既調合品で現場管理が簡単

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 マーイル

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

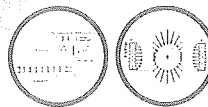
マックス・シェルレ 著

推進工法の理論と実際

野田典宏 訳 中本 至・石橋信利・金成英夫 監修
B5判 437頁 定価(本体価格8,500円+税) 送料450円

マックス・シェルレ 著
推進工法の理論と実際

野田 典宏 訳
中本 至
石橋 信利 監修
金成 英夫



工務工学社

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。

〈主要目次〉

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

推薦のことは

推進工法によって，下水道をはじめ多くの管渠が布設されている。下水道については1960年にはわが国の普及率は15%に過ぎなかったが，今日では60%近くになっている。当初，年間1500kmしか施工実績がなかったが，近年の施工延長は年間15000kmになっている。下水管渠の施工方法の選定にあたって，施工条件や建設環境，地下埋設物や地盤条件などの関係から，開削工法より推進工法などの特殊工法が選定されることが多くなり，その中でもとくに推進工法の適用は多くなった。ところが，わが国では推進工法に関する実務書は多いが理論面を記述したものはあまり見当たらず，推進工法の一層の発展のためにも理論書が求められていた。

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

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

中本 至・石橋信利・金成英夫

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

株式会社 土木工学社

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

《書籍申込書》

推進工法の理論と実際 冊 申し込みます

住所(〒 -)

事業所名

TEL

部課名

申込者



【好評発売中】

セグメントの新技术

監修 小泉 淳

B5判 132頁 定価(本体価格2,000円+税) 円310円

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

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

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

このため「トンネルと地下」の編集委員会では過去10年間に開発され、実用化されたセグメントを中心に開発中ものも含めてアンケート調査を実施し、また、土木学会の年次学術講演会における発表状況も参考にして34件のセグメントを抽出し、「セグメントの新技术」の連載講座を設けてこれらのセグメントを順次紹介した。セグメントの名称、特徴、開発目的、適用範囲などは同じフォーマットで掲載され、また、最終回では、そこで紹介されたセグメントを整理分類し、新しいセグメントの開発の動向や今後の展望を総括した。

本書はこの連載講座をもとに新たに「セグメントの新技术」編集委員会を作り、個々のセグメントに加筆、修正を加え、より充実した内容にまとめたものである。

〈セグメントの新技术〉

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



株式会社 土木工学社

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

きりりとーり線

《ご注文票》

セグメントの新技术 _____ 冊 申込みます。

所在地 〒 ()

事業所名 _____

部 課 名 _____

申込者名 _____



土木工学社の地質学書

〔新刊図書〕

わかりやすい 土木地質学



大島洋志 監修 平成12年11月 発行

B5判 209頁 価格2,500円(税別) 円340円

主要目次

序 編 トンネルと地質の関わり

1. 地質学とは、応用地質学とは 2. トンネルと地質

第I編 トンネル工事に必要となる基礎的地質学

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

第II編 トンネル工事と地質条件

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

第III編 地質調査法

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

第IV編 工事を対象とした地質調査の進め方

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

〔既刊図書〕

建設工事の保安地質学〔改訂版〕 石井康夫 著 A5判 475頁 価格6,000円(税別) 円380円

建設工事の地質診断と処方 石井康夫・矢嶋壯吉 共著 A5判 324頁 価格4,300円(税別) 円380円

地下水の科学 P.A.ドミニコ・F.W.シュワルツ 共著 大西有三 監訳

第I巻 地下水の物理と化学 B5判 235頁 価格4,078円(税別) 円380円

第II巻 地下水環境学 B5判 252頁 価格4,272円(税別) 円380円

第III巻 地下水と地質 B5判 197頁 価格3,689円(税別) 円340円

岩盤地下空洞の設計と施工 E.フック・E.T.ブラウン 共著 小野寺透・吉中龍之進・斎藤正忠・北川隆 共訳

B5判 444頁 価格9,800円(税別) 円450円

ブロック理論と岩盤工学への応用 R.E.グッドマン・G.H.シー 共著 吉中龍之進・大西有三 共訳

A5判 360頁 価格4,855円(税別) 円380円

岩盤の計測と解析 鈴木光 著 A5判 244頁 価格4,200円(税別) 円380円

地質工学概論 菊地宏吉 著 B5判 276頁 価格4,757円(税別) 円380円

続きみの庭にも温泉が出る 石井康夫・俣野恭寛 共著 新書判 217頁 価格1,200円(税別) 円240円

きみも金鉱を発見できる 石井康夫 新書判 200頁 価格980円(税別) 円240円

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



株式会社 土木工学社

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

トンネル工事からパンクを追放

坑内用特殊複層タイヤ

特許第1610830号



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

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

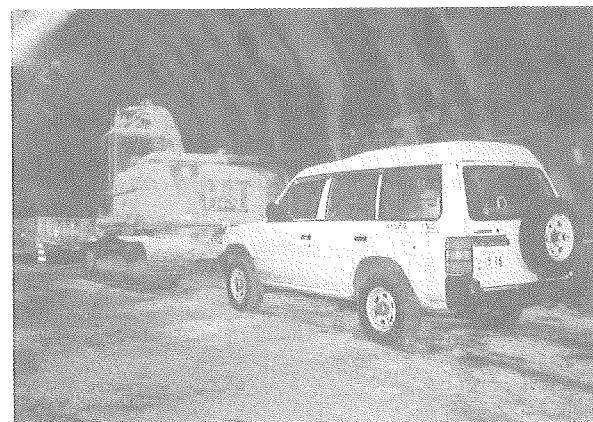
0~20 (約2年) 20~30 (1年6か月)
30~40 (約1年) 40~50 (6か月)

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

中濃産業株式会社
代表取締役 土田 義 式

本 社 〒501-1534 岐阜県本巣郡根尾村神所362-1
TEL (0581) 38-2241(代) FAX (0581) 38-3383
営業所 〒501-1203 岐阜県本巣郡本巣町文珠64-387
TEL (0581) 34-3990(代)

《現場が現場ですから・・・》



点検のため、巡回訪問のインスペクター・カー

休車は避けられません。
それでも高い稼働率は、CAT製品に共通する特長です。その上、プロダクト・サポートが下支えています。
全国、津々浦々CATファミリーのサービスネットワークが待機しています。

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

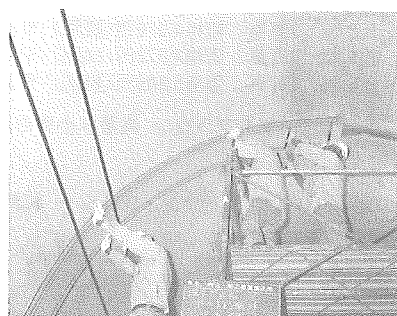
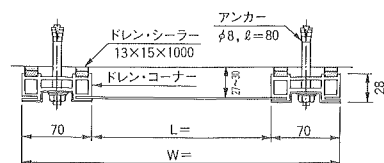
CATERPILLAR (キャタピラー) 及びCATIはCaterpillar Inc.の登録商標です。

トンネル・カルバート・地下構造物の漏水対策に

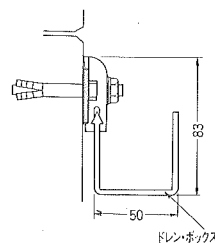
アーチ・ドレン 導水樋

■特 徴

- ・漏水幅に応じ導水幅の選択が可能
- ・導水プレートはアクリル変性P.V.C強化樹脂で驚異的な耐衝撃性有り
- …アイソット強度240kgハンマー破断せず…
- ・寒冷地型、Boxカルバート用勾配型、etc有。
- コンクリート剥落対策にも最適です。



水平導水樋に サイド・ドレン



■特 徴

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

ニホン・ドレン工業株式会社

〒910-2166 福井県福井市小路町4-12-1
TEL 0776-41-3725 FAX 0776-41-3455

21世紀の地球環境を見つめる土木専門図書

ブロック理論と岩盤工学への応用

R.E.グッドマン, G.H.シー著/吉中龍之進・大西有三 訳
A5判 360頁 本体4,855円 送料380円

建設工事の保安地質学【改訂版】

石井康夫 著
A5判 474頁 本体6,000円 送料380円

建設工事の地質診断と処方

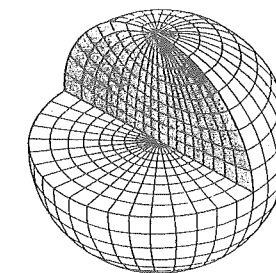
石井康夫・矢嶋壯吉 共著
A5判 324頁 本体4,300円 送料380円

岩盤地下空洞の設計と施工

E.フック, E.T.ブラウン 共著
小野寺透・吉中龍之進・齊藤正忠・北川隆 共訳
B5判 444頁 上製本 本体9,800円 送料450円

山岳トンネルの新技术

ジェオフロンテ研究会 編纂
B5判 500頁 本体14,573円 送料450円



わかりやすいトンネルの力学

福島啓一 著
B5判 286頁 本体5,825円 送料380円

岩盤の計測と解析

工学博士 鈴木光 著
A5判 244頁 本体4,200円 送料380円

地質工学概論

菊地宏吉 著
B5判 276頁 本体4,757円 送料380円

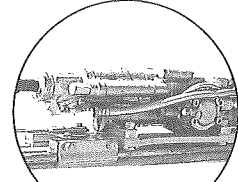
〒162-0832 東京都新宿区岩戸町16メイジャー神楽坂 **土木工学社** 振替 00110-8-190072 ☎03(3267)2888

Furukawa
ROCK DRILL

信頼の実績

油圧式ホイールジャンボ

FIDSにより最高の動力効率
柔軟で知能的なドリフタ制御を実現

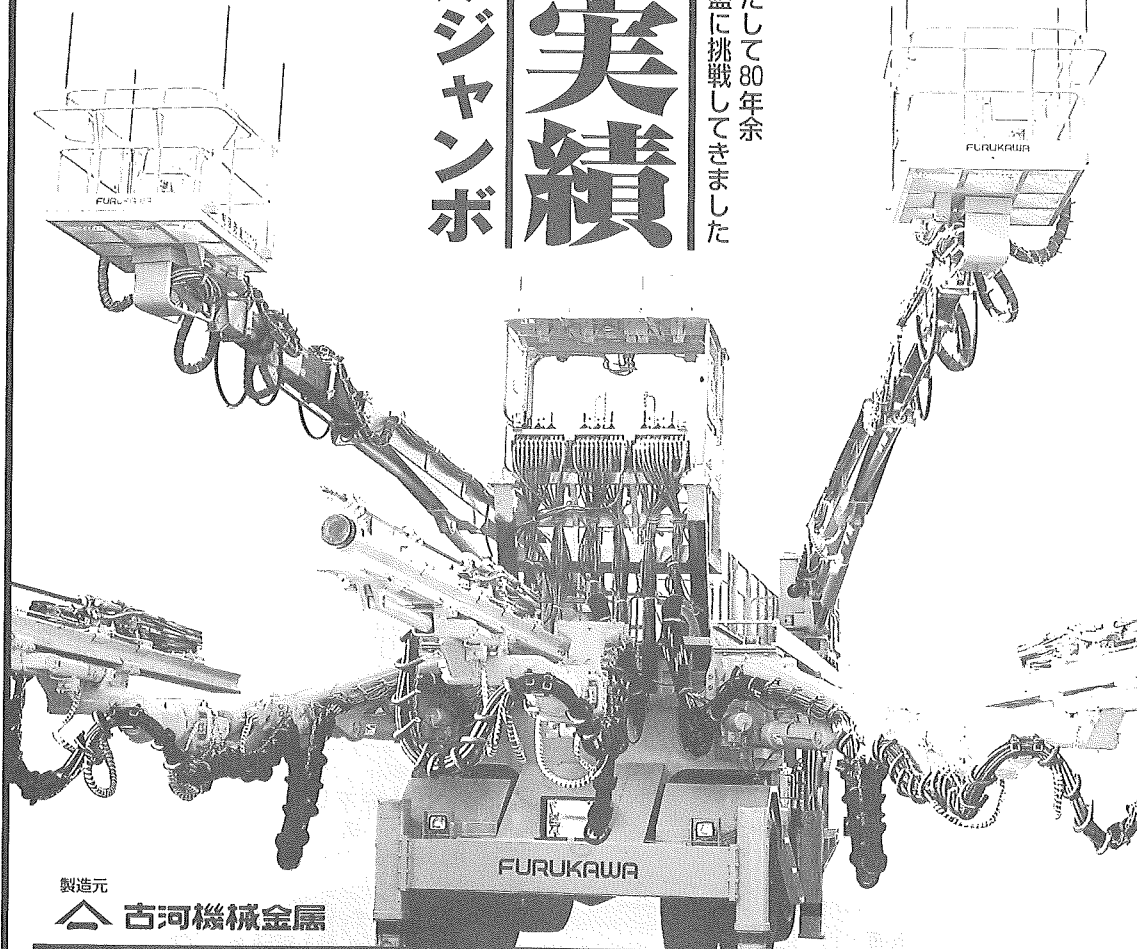


新型ドリフタ搭載

JTH3RS-190EX

◆主な仕様

- 全長 14,350 mm
- 全幅 3,100 mm
- 全高 4,200 mm
- 水平さく孔範囲：幅 13.0 m
高さ 8.6 m



製造元
古河機械金属

(新幹線・道路・水路等の全断面及びマイクロベンチ工法のトンネルさく孔)

総販売元
古河機械販売株式会社
(旧社名：古河さく岩販売株式会社)

本社：東京都千代田区内神田2-15-9(古河千代田ビル) 電話 03(3252)2542
札幌営業所 011(864)1251 東北営業所 022(384)1301 高崎営業所 027(326)9611
東京営業所 0424(72)2821 名古屋営業所 0568(76)7755 大阪営業所 06(6475)8251
広島営業所 082(232)7729 高松営業所 087(862)4077 九州営業所 092(948)1888
大館出張所 0186(42)1766

販売代理店 全国に張り巡らされたサービス網
FDT 古河ドリルテック株式会社
本社：東京都千代田区内神田2-15-9(古河千代田ビル) 電話 03(3252)6551

関東営業所 027(322)5953 札幌営業所 011(861)3261 仙台営業所 022(356)5771
名古屋営業所 0568(77)7700 大阪営業所 06(6475)8221 広島営業所 082(291)5821
福岡営業所 092(948)2010 神奈川出張所 0274(59)3146 松本出張所 0263(02)8271
静岡出張所 054(620)1641 高松出張所 087(833)4833

古河さく岩機は国産第1号を生みだして80余年
様々なトンネル工事であらゆる岩盤に挑戦してきました

■巻頭	言 雑 感	大日本土木(株)	鬼頭 徳就… 5
■研	究	シールド機挙動のシミュレーションに関する研究	長岡技術科学大学 杉本 光隆…47
		"	Aphichat Sramoon
		(財)鉄道総合技術研究所	小西 真治
		"	佐藤 豊
■解	説	地山等級分類の改善提案	住鋳コンサルタント(株) 福島 啓一…55
■施	工	2本の既設トンネルの間をNATMで横断	日本鉄道建設公団 瀧本 倫義… 7
		九州新幹線 妙見トンネル	"
		"	上之浦浩二
		"	堀川 淳
		径5.1mのレイズボーラーで立坑を掘る	鹿島・小田急・志多・緒方共同企業体 田中 正
		国道185号 休山トンネル換気立坑	国土交通省 方山 義彦…15
		"	原田 光則
		(株)フジタ	土屋 敏郎
		"	武田 和徳
		PCパネルによる新旧トンネル接合部の処理	前田建設工業(株) 赤坂 雄司…23
		国道229号 新豊浜トンネル	国土交通省 佐々木博一
		"	前田建設工業(株) 盛 春雄
		"	志田 孝司
		7.5km長距離シールドトンネルの工事概要	西松建設(株) 阿野 豊…31
		チャンネルトンネルレールリンク220工区	" 宇津木 薫
		"	南 敏文
		覆工の薄肉打ち替えによる急速補修	内閣府 仲里 純勇…37
		福地ダム～安波ダム間調整水路トンネル	" 安仁屋 勉
		(株)屋部土建	金城 秀一
		鉄建建設(株)	青木 義治
■連載講座	吹付けコンクリート・ロックボルトに関するQ&A(21)	JTA 支保幹事会	…65
	大深度地下利用(最終回)	国土交通省	船本 浩二…71
	大深度地下利用に関する技術開発ビジョン		
■現場だより	「蝶も通う近さでの海外工事」台湾桃園県より	大林組・互助營造共同企業体	山道 哲二…46
	「異国情緒あふれる」長崎市より	不動・星野・菱興共同企業体	竹谷 芳明…54
■資	料	土木情報	編集部…64
		トンネルジャーナル	編集部…76
		海外文献速報	JTA 研究開発委員会…77
		トンネルワールドニュース	JTA 国際委員会国内広報ワーキング…80
		工法・技術・製品ニュース	編集部…81
■会	報	会 報	日本トンネル技術協会…82
■グ	ラ	眼で見るトンネル工事	編集部… 1

表紙説明 PCパネルによる新旧トンネル接合部の処理・国道229号 新豊浜トンネル
当トンネルは、活線状況下で旧豊浜トンネルの崩落した急斜面部を迂回し、隣接する旧セタカムイトンネルとをバイパストンネルで結び1本のトンネルとしたものである。接合部は超扁平大断面となるため、掘削は加背割りで、覆工は開通後にPCパネルを用いて行った。写真は支保鋼材設置状況。 [写真提供：国土交通省] (本文23頁参照)

コンパクトで計量精度は抜群

丸友の 移動式 コンクリートプラント

製造・販売・リース
生産量 10~90m³/H

電子制御自動式
(印字自動記録装置付)

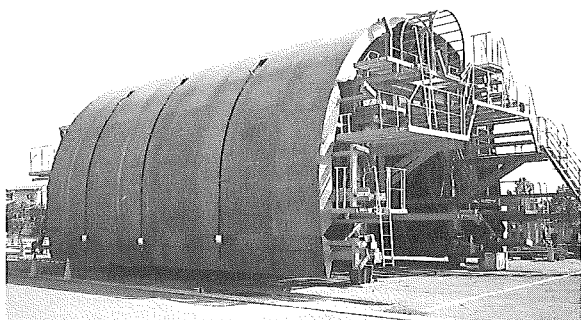
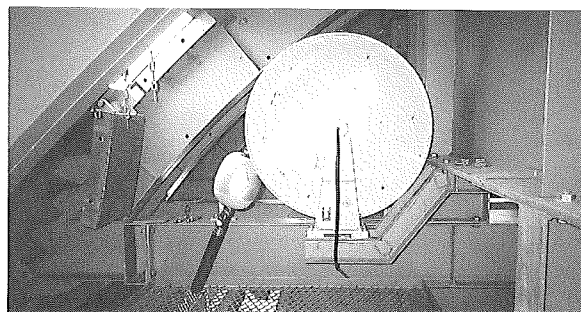
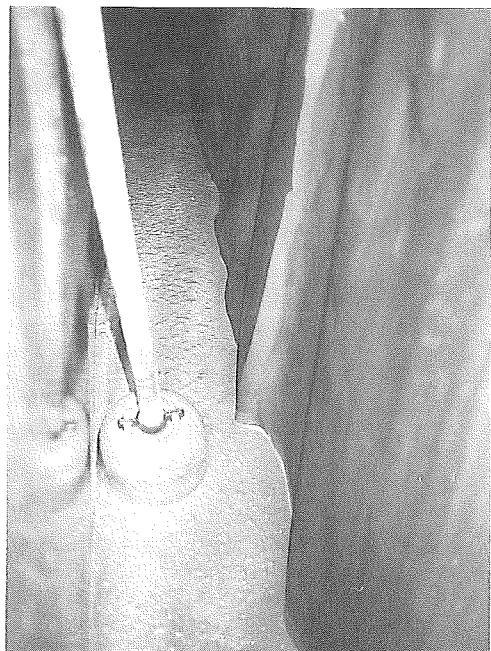
東京営業所 東京都千代田区神田和泉町1の5
〒101-0024 ミツバビル 電話(03)(3861)9461(代)

恵那工場 岐阜県恵那市武並町藤字相戸2284番地
〒509-7121 電話(0573)(28)2080(代)

丸友機械株式会社
本社 名古屋市中区東一丁目19番12号
〒461-0001 電話(052)(951)5381(代)

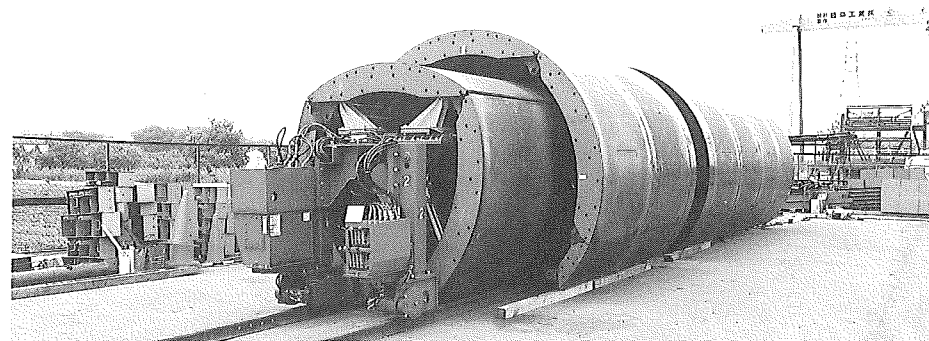
コンクリート打設の新技术

浮きバイブレーターシステム



打設中の浮きバイブレーター

上段：浮きバイブレーターバルンサー
下段：浮きバイブレーターを装備した全断面スチールフォーム



上下水道の地下シールドトンネル用テレスコピック円形スチールフォーム



岐阜工業株式会社
GIFU KOGYO CO., LTD.

本社 〒501-0464 岐阜県本巣郡真正町十四条144

本社工場 TEL (058) 323-2000 (代) FAX(058)323-1176

東京支店 (03)3262-1285 (代)

仙台営業所 (022)259-2239

九州営業所 (092)713-5265

Tunnels and Underground

CONTENTS

Vol. 33, No. 4 April

The Third NATM Tunnel Crossing between Two Existing Tunnels - Myouken Tunnel construction on Kyushu Shinkansen Line(pp.7)

By Tomoyoshi Takimoto, Japan Railway Construction Corporation

The tunnel under construction is of 1,997m total length. Prior to its start of construction, it was facing three problems to be solved. The one is how to drive excavation under the existing, 7,000 storage tank for water distribution to Yatsushiro City. The second is the measures to be taken against large land slide potentials at the terminal portal section. The third is the route of tunnel construction to run very closely between the water discharge tunnel and the expressway tunnel. This paper is to report preliminary survey, consultation, measures, work plan and probable impact to both tunnels after commencement of the construction work.

Shaft Excavation by Raise Borer of 5.1m Diameter - National Highway No.185 Yasuniyama Tunnel Ventilation Shaft(pp.15)

By Yoshihiko. Katayama, Ministry of Land, Infrastructure & Transport

The tunnel is under construction for the purpose of dissolving traffic congestion in Kure City. The tunnel portal is in the densely settled area, the ventilation method must be of forced exhaust from the center of the tunnel. For this reason, the ventilation shaft was planned to be provided by raise borer full face excavation tunnel method was adopted (domestic maximum dia. of 5,105mm without blasting. For lining, the work was completed in a short time economically by transfer of the same suspended scaffold from primary to the secondary lining.

This text refers to shaft construction outline, raise borer method and quick lining method.

Treatment of New and Old Tunnel Joint by PC Panels - Shin-Toyohama Tunnel on National Highway No.229(pp.23)

By Yuji Akasaka, Maeda Corporation

The tunnel forms a single tunnel by connecting together former Toyohama Tunnel and Former Setakamui Tunnel through the bypass tunnel.

The interface between bypass tunnel and existing tunnels forms an ultra-flat large section. Because the interface lining work was in a sequence after opening of the new tunnel, it was required to minimize traffic restriction while the work was ongoing. This paper mentions mainly the lining method at tunnel interface using PC panels.

Construction Outline of 7.5km Long Distance Shield Tunnel - Channel Tunnel Rail Link Work Section 220(pp.31)

By Yutaka Ano, Nishimatsu Corporation (London Tunnel Office)

The Euro-Star rail between London and the Continent is not as yet of complete rapid track because it

is still running on the conventional railroad on the UK side. Therefore, the rapid new rail is under construction starting between Folkestone and the Thames for Section 1. In 2001, for Section 2 Project the work was extended up to St. Pancras including the trans-Thames tunnel section. This paper describes the tunnel construction plan over 7.5km from the Stratford Station to immediate before the St. Pancras Station.

Rapid Repair and Recovery by Replacement of Thin Walled Lining - Regulating Waterway Tunnel between Fukuchi Dam and Aha Dam(pp.37)

By Sumio Nakazato, Okinawa General Secretariat Office

In Okinawa Island, five(5) dams are constructed and linked together by regulating water channels for efficient operation and utilization of the water resources. The water channels are about 20years of age with somewhat deformation of deterioration and crack development. To cope with these conditions, the repair and maintenance work was done by new lining concrete.

The tunnel rapid repair method was adopted because of its higher work accuracy. This text refers to survey, repair work design and construction work on record.

Shield behavior simulation by kinematic load model on shield(pp.47)

By Mitsutaka Sugimoto, Nagaoka university of technology, Dept. of civil eng. Prof.

Based on the construction records and the previous researches, the kinematic load model on shield, which can simulate the shield behavior theoretically, was proposed. In this paper, to investigate the validity of the newly developed model, the simulation on shield behavior was carried out by using the actual site condition data and the in-situ data on the shield behavior and control during excavation. The obtained results were compared with the measured data. As a result, it was confirmed that the predicted shield behavior has a good agreement with the actual one and the proposed model can represent the shield behavior reasonably.

Proposal for Improvement of Ground Classification(pp.55)

By Keiichi Fukushima, Sumiko Consultants

The tunnelling work depends solely upon its geological conditions. Therefore, the work very often requires geological knowledge or collaboration with geologists in the planning, designing and construction phases.

In terms of geology, the tunneling work is its applied engineering work of importance in the advanced research. However, there still remains much to be improved in closer tie-up between the civil engineer and the geologist. Proposal is made for improvement with some comments on rock classifications.

Supervision

Japan Tunnelling Association
Shinko Dai-ichi Bldg., 14-7,
2 chome, shintomi, Chuo-ku,
Tokyo, 104-0042, Japan.

Publisher

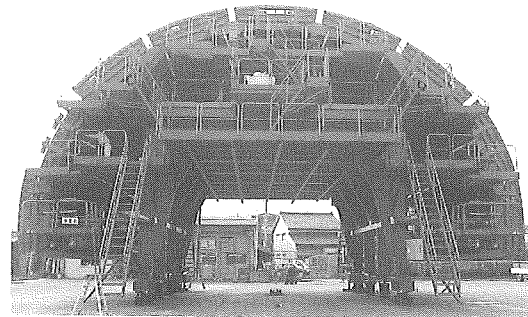
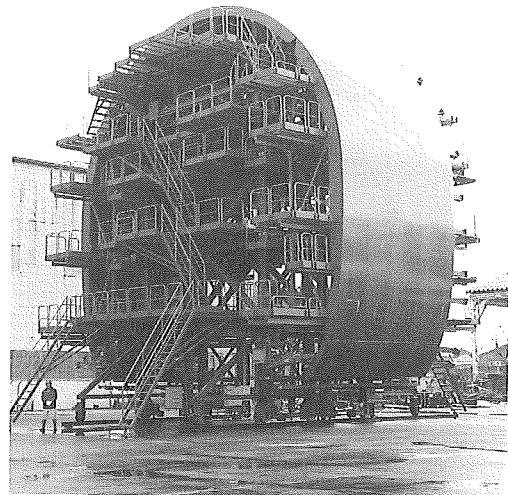
Doboku Kogakusha Co., Ltd.
Major Kagurazaka, 16 Banchi,
Iwatocho, Shinjyuku-ku,
Tokyo, 162-0832, Japan.

Tunnels and Underground

One copy : US \$ 15 (Seamail)
Subscription Rate
One year : US \$ 180 (Seamail)

SAGA'S TUNNELLING FORMWORKS & MACHINERY

大断面トンネル用スチールフォーム

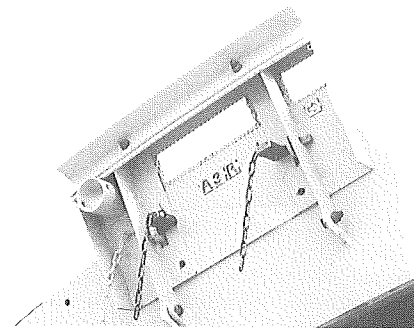


↑ 大断面NATM (第二東名神高速道路)
H=9.6m W=16.9m L=10.5m

← 大断面都市NATM (地下調整池)
H=16.5m W=15.4m L=6.0m

High Performance 高機能妻板をお薦めします HP 妻板により二次覆工コンクリート打継ぎ部分の品質が向上します//【特許出願中】

- ☆妻板のメッシュから余剰水などが排出できます
- ☆妻板から棒状バイブレーターを水平に挿入して、コンクリートの締固めができるようになりました
- ☆妻部の脱水、締固め作業が容易にできます
- ☆余剰水などは樋で流下させ作業床を汚しません
- ☆妻板付近のコンクリート品質が向上します
- ☆施工中のセントルに取付けが可能です
- ☆妻板全周への取付けをお薦めします



佐賀工業株式会社

- 本社: 〒933-0073 富山県高岡市荻布209番地 ☎0766-23-1500(代) FAX 0766-25-5629
- 東京営業所: 〒101-0047 東京都千代田区内神田1-11-10(コハラビル) ☎03-3293-9551(代) FAX 03-3291-3770
- 大阪営業所: 〒532-0011 大阪市淀川区西中島3-19-13 ☎06-6390-2670(代) FAX 06-6390-2673
- 仙台営業所: 〒989-2445 宮城県岩沼市桑原4-9-12 ☎0223-22-4316(代) FAX 0223-22-4315

会誌委員会の構成 (五十音順・敬称略)

〔委員長〕

橋本定雄 不動建設株式会社特別顧問
(元)東京都下水道局長

〔委員〕

伊藤 範行 鹿島建設株式会社建設総事業本部土木技術本部
工務部担当部長
猪俣 正 飛島建設株式会社土木事業本部副本部長
岩崎 辰郎 日本道路公団技術部調査役
栗田 幸男 帝都高速度交通営団建設本部設計部
設計第一課課長
古賀 雄三 清水建設株式会社土木本部技術第二部部长
下保 修 国土交通省大臣官房技術調査室技術企画官

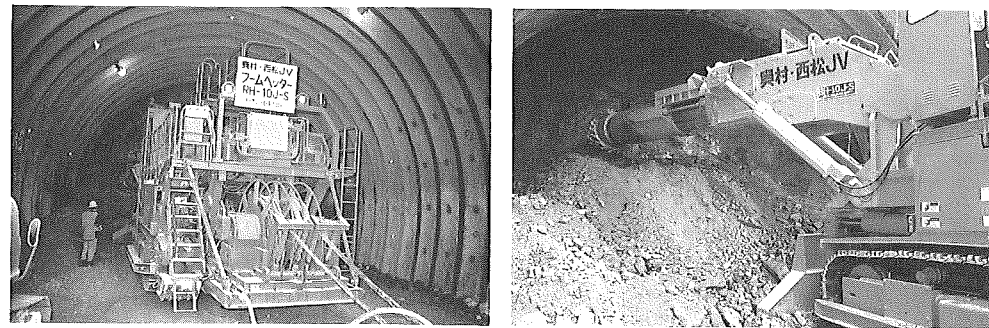
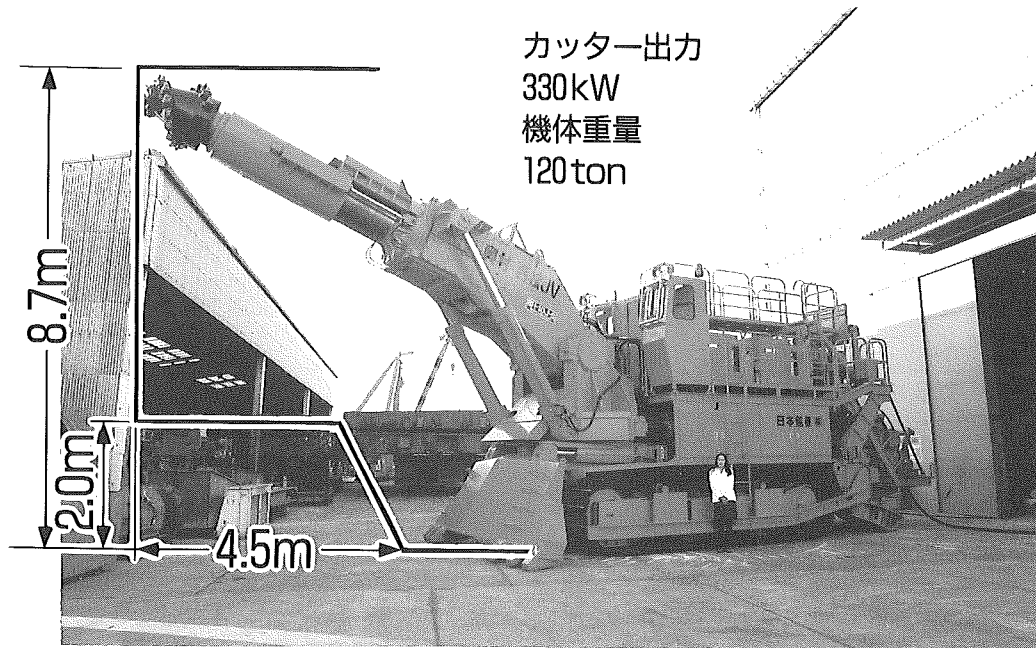
高山 博文 日本鉄道建設公団計画部計画課長
田川 弘義 株式会社竹中土木顧問
端 則夫 大成建設株式会社土木本部土木技術部
トンネル技術室室長
濱 建介 株式会社アオバ取締役会長
三浦 正彦 株式会社大林組土木技術本部技術第二部長

編集顧問の構成 (五十音順・敬称略)

伊吹山 四郎 攻玉社工科大学短期大学学長
島田 隆夫 鉄建建設株式会社社友
高橋 彦治 伸光エンジニアリング株式会社技師長
田島 利男 株式会社ロードエンジニアリング代表取締役
長友 成樹 株式会社構造技術センター顧問
西松 裕一 東京大学名誉教授

林 博 西松建設株式会社専務取締役
松本 崇義 (元)東京都理事
丸安 隆和 東京理科大学教授
宮川 房夫 株式会社熊谷組常務取締役
吉川 新吉 東京発電株式会社常任監査役
吉村 恒 吉村とんねる・らぼ

RH-10J-S ミニベンチ機械掘削工法 ブームヘッダー



RH-10J-S型は

- ① 積込機、NATM関連機器等、従来機との組合せでミニベンチ工法が出来ます。
- ② トップデッキを外すことにより、ショートベンチ工法の上半にも使えます。

油圧カヤバの建機部門

日本鉱機株式会社 建機部

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

本社 〒105-0012 東京都港区芝大門2丁目11番1号(富士ビル) 電話(03)3431-9331代
 福岡支店 〒812-0013 福岡市博多区博多駅東2丁目6番26号(安川産業ビル9階) 電話(092)411-4998
 工場 〒514-0301 三重県津市雲出鋼管町(カヤバ工業㈱三重工場) 電話(0592)34-4111

編集委員会の構成 (五十音順・敬称略)

〔編集委員長〕

橋本定雄 不動建設株式会社特別顧問
(元)東京都下水道局長

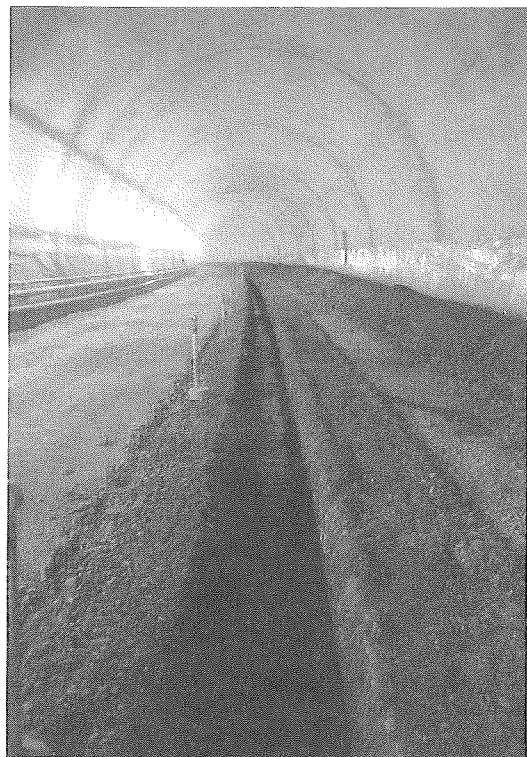
〔編集参与〕

伊藤良行	株式会社復建エンジニアリング 第一技術部部长	定塚正行	株式会社コンテック代表取締役社長
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	鈴木章	NTT都市開発株式会社常務取締役
今田徹	東京都立大学名誉教授	濱建介	株式会社アオバ取締役会長
		水谷敏則	(財)先端建設技術センター 先端建設技術研究所長

〔委員〕

岩崎辰郎	日本道路公団技術部調査役	野崎春己	東京都交通局建設工務部計画課長
上田日出男	日本鉄道建設公団工務部工務第一課 総括補佐	真下英人	独立行政法人土木研究所 基礎道路技術研究グループ 上席研究員(トンネル担当)
木谷日出男	財団法人鉄道総合技術研究所 防災技術研究部地質研究室長	増田達	東日本旅客鉄道株式会社東京工事事務所 工事管理室長
篠原修	東京都水道局建設部工務課長	山崎剛	東京電力株式会社工務部地中送電グループ 管路建設技術担当課長
高橋良文	東京都下水道局計画調整部副参事		
中島誠三	帝都高速度交通営団建設本部設計部 設計第二課課長		

岩盤切削機 トレンチャー **TRENCOR inc.**



トレンチャーによる中央排水溝掘削

トレンチャーによる
工期短縮とコスト合理化の実現

トンネル中央排水溝掘削例

トンネル	排水溝寸法(矩形)		進行と掘削時間	
	巾(m)	深(m)	m/時	時/日
新幹線	0.8	1.8	10~25	2~4
高速道路	0.6	0.9	20~50	4~5



	切削巾	切削深	用途
トレンチャー	0.3~2.4m	0.5~10.0m	深溝掘削 ⇒ トンネル中央排水溝、道路、造成地内溝
ロードマイナー	3.0~4.8m	0.9~1.9m	広幅掘削 ⇒ トンネル下半、道路盤、造成工事
ロックソー	0.1~0.3m	0.9~1.4m	狭溝掘削 ⇒ 光ケーブル、電力線、その他

どちらの工法を選びますか？



ブレカー工法(掘削巾2m×深1.8m)



トレンチャー工法(掘削巾0.8m×深1.8m)

TRENCOR INC.
TEXAS, U.S.A
www.trencor.com

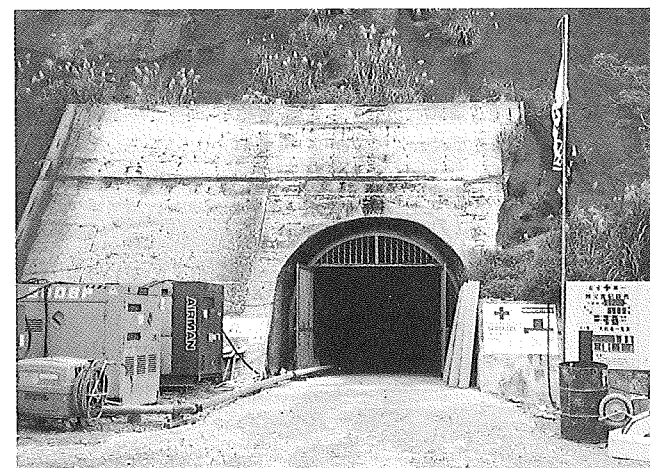
総代理店 **オオヤマ & Co.** (Ohyama & Co.)
〒121-0813 東京都足立区竹の塚 1-27-9
TEL.03-3885-0864 FAX.03-3885-0864
mail: ohyama@mui.biglobe.ne.jp

眼で見るトンネル工事

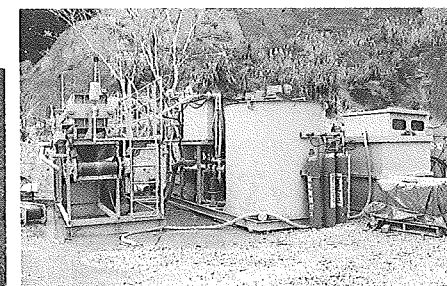
トンネル補修にはつりロボットを採用 福地ダム~安波ダム間調整水路トンネル



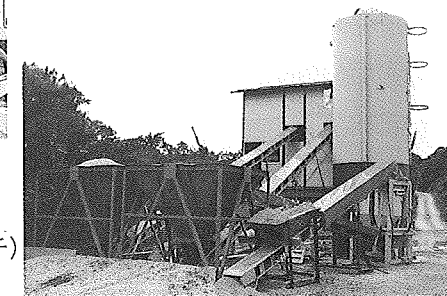
切削完了状況



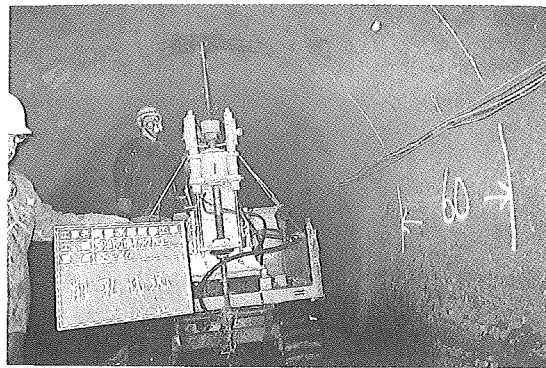
新川斜坑坑口
(左側の設備は発電機; 300kVA 1台, 200kVA 1台)



濁水処理設備(処理能力 30m³/h)



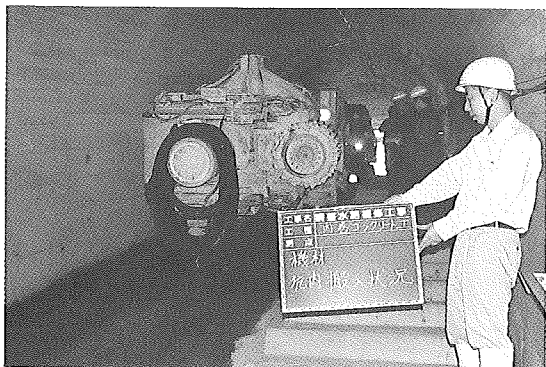
コンクリートプラント(0.5m³/1バッチ)



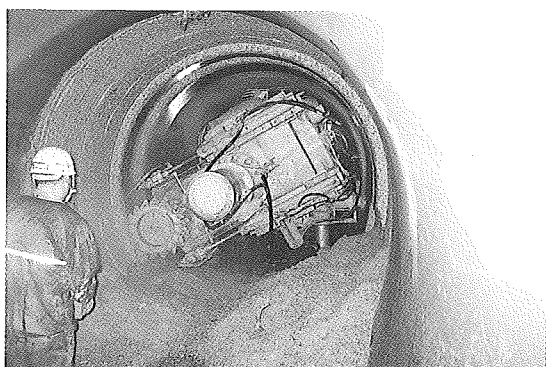
空洞グラウト注入口穿孔



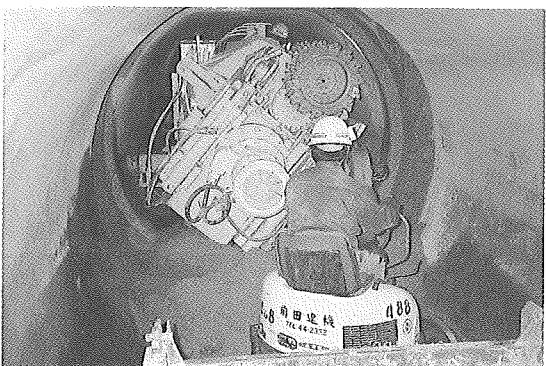
はつりロボット搬入状況



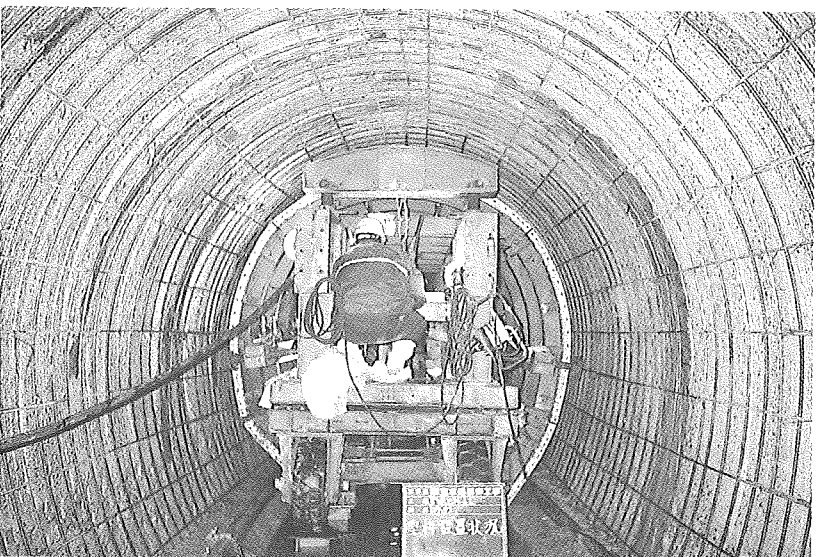
はつりロボット坑内搬入状況(勾配14°の斜坑を自走)



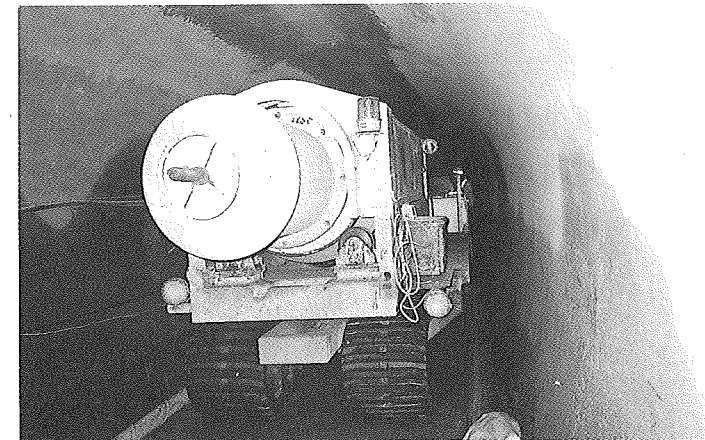
劣化した既設覆工の表面を切削(t=10cm)



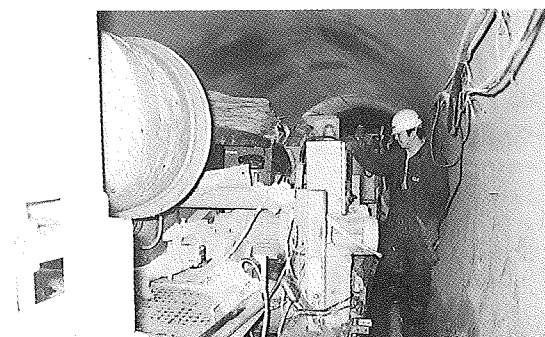
切削したコンクリートズリの積み・搬出状況



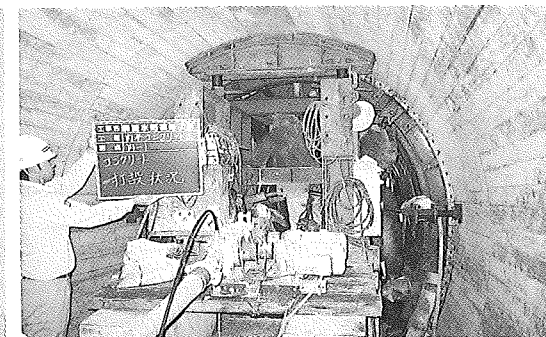
補強鉄筋組立ておよび型枠設置状況



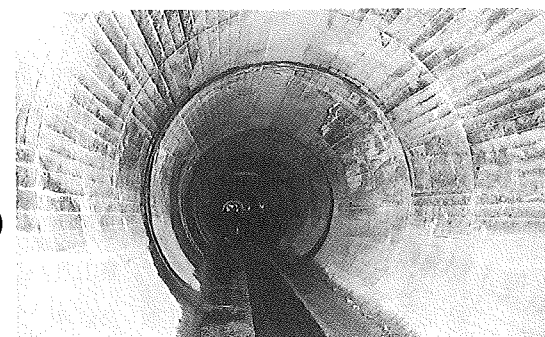
コンクリート坑内搬入状況(2m³積載キャリアミキサ)



コンクリート圧送状況(打設能力4m³/h)



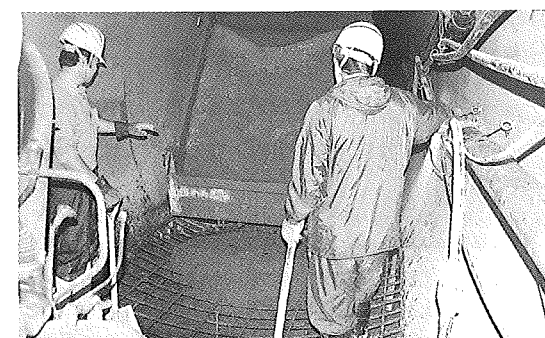
コンクリート打設状況(中央の混合装置で急硬材を添加)



覆工コンクリート補修完了状況



既設インバートはつり状況



インバート打設状況



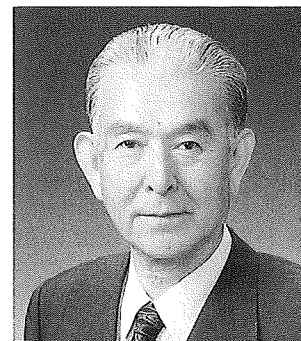
インバートコンクリートこて仕上げ状況

=====**巻頭言**=====

(題字 萩原 浩会長)

雑 感

鬼頭徳就



私とトンネルとのかかわりは、入社間もなく、岐阜県と滋賀県の県境付近に位置する東海道本線新今須隧道工事に従事したころにさかのぼります。最近、西日本への移動時には新幹線を利用するため、在来線の新今須隧道を通過することはなくなりましたが、今でも現場近くを通るたびにあの頃のことを思い出します。当時の支保は松丸太した。穿孔もずりだしも人力作業が主体で、坑内には7、8人の作業員が張り付いていてまさに人が山を掘るという感じでした。最近の山岳トンネル工事は、発破掘削においても大型油圧削岩機やずり積み機の採用、2車線道路トンネルを全断面で掘削する外径12mを超えるTBMの採用というように機械化が非常に進んできています。トンネル坑内はまさに工場のようなものであるといっても過言ではありません。この数十年でトンネルに限らずさまざまな社会資本を構築する施工法は大きく変わってきましたが、出来上がった社会資本の質は技術の進歩にあわせて本当に向上してきたのでしょうか。

わが国の社会資本は、第二次世界大戦直後の国土が灰燼と化した“無”の状態から整備が始まっており、建設後たかだか50年程度しか経過していないものがほとんどであるといってもよいでしょう。社会資本は、「まず整備する」ということに重点がおかれており、維持管理については必要に迫られていませんでした。しかし、近年問題になっているコンクリートクライシスに代表されるような社会資本の予想外の劣化は緊急の課題になりつつあります。

最近、塩野七生著「ローマ人の物語X すべての道はローマに通ず」を読みました。この中で、インフラ(社会資本)とは「人間らしい生活をおくるためには必要な大事業」とローマ人が考えていた記述が印象に残っています。現実的で合理的なローマ人にとっては、速く・快適に移動するための道路や橋、安定的に良質の水を供給するための水道などのイン

=====**ロックレンチャー**=====

岩盤の溝掘りには、日本の環境を考慮して設計製造されたマステンブレック社(英国)のロックレンチャーをお試し下さい。



「日経コンストラクション」1998年12月11日号p62～63から転載

ロックレンチャーの性能・諸元

ロックレンチャーの種類		ロック・レンチャー			
ロックレンチャーの種類		小型 20/18	中型 30/25	進大型 40/30	大型 60/35
性能	掘削幅(最小)cm	23	30	リクエスト	リクエスト
	掘削幅(最大)cm	70	110	110	110
	掘削岩の硬さ(最大)	400kg/cm ²	800kg/cm ²	1000kg/cm ²	1300kg/cm ²
諸元	重さ t	25	32	50	59
	長さ* m	11.1	12.4	14.0	15.4
	幅 m	2.5	2.95	2.95	2.98
	高さ m	3.0	3.0	3.0	3.20
エンジンの出力 PS		250	330	450	600
保証期間		6ヶ月または1000時間のいずれか早い方			

*長さはフォワードコンベア、水タンクなしの場合。

我が国におけるマステンブレック社のロックレンチャーによるトンネルの中央排水溝掘削の実績

売木トンネル中央排水溝工事	長野県
城端トンネル中央排水溝工事	富山県
清内路トンネル中央排水溝工事	長野県
中山トンネル中央排水溝工事	愛媛県
白地トンネル中央排水溝工事	徳島県
栃原トンネル中央排水溝工事	兵庫県
袴腰トンネル中央排水溝工事	富山県
津久井導水路中央排水溝工事	神奈川県

フラを「整備」し、良好な状態で「維持」することが、人間らしい生活を保障していることになるでしょう。

まず、「インフラの整備」について、アッピア街道に代表される道路網は、国家にとっての「血管」とローマ人は考えていたとの記述があります。だからこそわが国と似た南北に細長い国土全土をネットワーク状に覆う道路網をローマ人は造りあげたと思います。国家が健康で生きていくためには「血管網」は必要不可欠ということでしょう。

翻ってみるに、わが国においては、「血管網」の整備は十分にされたのでしょうか。たしかに国土を貫く大動脈はおおむね整備が完了し、一部で硬化を起こしてはいるものの太い血液の流れは維持できているように思われます。しかし、依然として「血管」が存在しない地域や「血管」が途中で切れてしまっている地域もあり、わが国の全域で、ローマ人が考える人間らしい生活を送ることができているかは疑問が残ります。厳しい財政事情という制約は重要ではありますが、コストパフォーマンスだけを優先的な判断基準とすることなく「血管網」の整備を今後も推進し、健康な国家を作り上げていくことが、今の時代を生きるわれわれの務めではないかと思っています。

次に、2つ目の「維持」について考えてみます。道路、水道ともにローマ時代の水準を超えたのは実に19~20世紀まで待たねばならなかったという事実は、ローマのインフラの整備ならびに維持水準の高さを示しています。建設時の品質が良いだけでは、数百年の間、所定の品質を保つことはできません。やはり、適切な維持管理が継続的になされなければ品質維持は不可能であると思います。地道な維持管理が営々となされてきた結果が驚異的な長寿命化につながっています。

今後、厳しい財政事情の中で、有効に社会資本を活用していくためには、適切に維持管理を行い、ローマと同様の数百年レベルとまではいかないまでも、せめて百年を超える耐用年数と良質のサービスを提供できる仕組みを構築しなければならないと思っています。

本協会評議員

大日本土木株式会社代表取締役社長



施工 2本の既設トンネルの間をNATMで横断 九州新幹線 妙見トンネル

瀧本倫義* 上之浦浩二**
堀川淳*** 田中正****

1. はじめに

妙見トンネルは、九州新幹線新八代-西鹿児島間の熊本県八代市に位置し、新八代駅(仮称)より南下して最初の全長1,997mのトンネルである(写真-1)。

このトンネルは、施工に関して大きな三つの問題と直面した。一つ目は八代市全域に配水している市水道局7,000t配水タンクの下でのトンネル掘削、二つ目は終点方坑口部の大規模地滑り対策、三つ目は放水路トン



写真-1 妙見トンネル位置

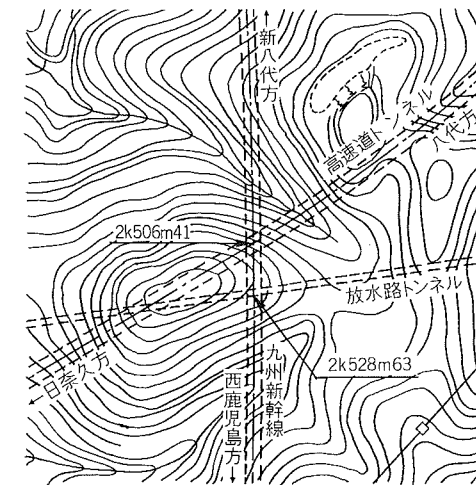


図-1 交差関係(平面図)

ルと高速道トンネルの間を近接施工することである。

今回、それら諸問題の中で、三つ目の内容であるトンネルの近接施工について、事前調査、協議、近接トンネルへの対策、新幹線トンネルの施工計画を中心に報告したい。なお、施工後の両トンネルへの影響結果についても付記しておく。

2. 位置関係

新幹線妙見トンネル(以後、「妙見トンネル」)と交差する、放水路トンネルおよび高速道トンネルとの位置関係は、図-1に示すように、新八代起点2k506m41付近で高速道トンネル、2k528m63付近で放水路トンネルと交差する。また、図-2の縦断方向の位置関係に示すよう

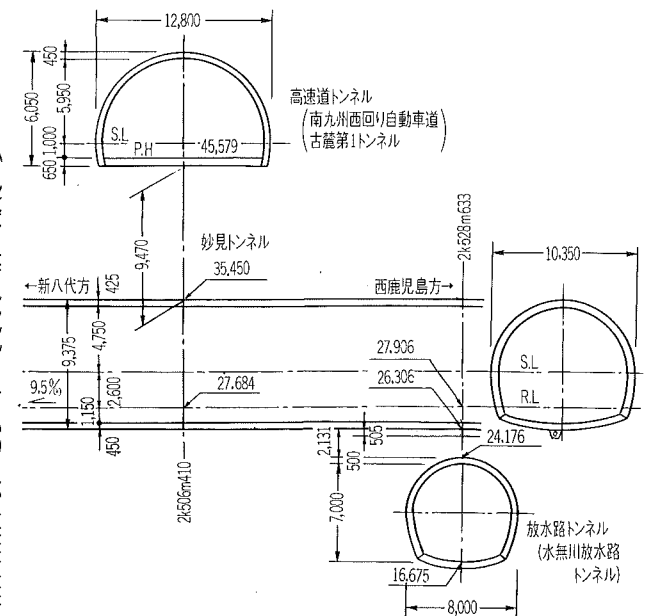


図-2 交差関係(縦断面図)

* 日本鉄道建設公団九州新幹線建設局八代鉄道建設所所長

** " " " " 担当
副所長

*** 日本鉄道建設公団九州新幹線建設局八代鉄道建設所主任

**** 鹿島・小田急・志多・緒方特定建設工事共同企業体現場
代理人

に高速道トンネルと放水路トンネルの間を妙見トンネルが抜ける形となっている。その離隔は、上の高速道トンネルとは9.47m、下の放水路トンネルとは2.13mである。妙見トンネルは、終点方坑口から突っ込みで掘削しており、まず放水路トンネルの直上にて交差し、約20m切羽が進むと今度は高速道トンネル直下で交差する。

3. 交差するトンネルについて

妙見トンネルと交差するトンネルについて簡単に説明する。

まず、妙見トンネルの2m直下にて交差するトンネルは、熊本県所管の水無川放水路トンネル(以後、「放水路トンネル」)。これは水無川増水時に本トンネルへ分流させ球磨川に放流し流量管理をする目的で施工されたものである。また、妙見トンネルの10m上で交差するトンネルは、南九州自動車道西回り線、古麓第1トンネル(以後、「高速道トンネル」)である。

熊本県南部の八代市から芦北町にかけての地域は、中央構造線の西端に位置しており、断層などが点在、かつ地層が大きな力を受け褶曲し、節理・層理が発達している状況にある。

4. 交差付近の地質

図-3のトンネル全体図に示すように、妙見トンネル全体の岩質は主に宮地層・八代層と呼ばれる砂岩・頁岩からなっている。岩自体は強度を有するがクラッキーな地山である。

ここで、新幹線トンネルの掘削に伴う既存トンネルへの影響解析を行うため、放水路トンネル内から交差部付

近を目指して直接ボーリング調査を実施した。その結果は以下のとおりである。

地山は細粒砂岩と砂質頁岩の互層からなる。砂岩はおおむね新鮮硬質で、頁岩はやや軟質で割れやすく亀裂が存在する。亀裂面は一部酸化変色し亀裂沿いに岩質が軟質化し、幅10cm程度の破砕が見られ粘土化している箇所もあった。

また同時に、孔内水平載荷試験を行い、地山の変形係数を測定した。その結果は、2,730~36,700kgf/cm²とばらつきがあり、後に述べる解析に用いる定数として、亀裂を考慮して低めの測定値を抽出し2,730~14,600kgf/cm²の平均値である8,000kgf/cm²を採用した。

5. FEM解析

3次元FEM解析を行う前提条件は、以下のとおりである。

- ・既設トンネルの周囲地山は施工によるゆるみ領域を有し、その範囲はトンネル壁面から2mの範囲とする。
- ・変形係数は8,000kgf/cm²、ゆるみ領域では200kgf/cm²とする。
- ・妙見トンネルの掘削段階ごとに解析実施(交差部手前→放水路トンネル通過→高速道トンネル通過)。

FEM解析の結果を図-4~6に示す。妙見トンネルの切羽が交差付近に近づくと上下両トンネルの変位が始まる。交差位置を切羽が通過した直後に変位が最大となる。上に位置する高速道トンネルは沈下傾向にあり天端が4.6mm、脚部が5.4mm沈下する。下に位置する放水路トンネルは上載荷重が除荷される形となり、浮き上がる傾向にあり、天端が5.4mm浮き上がり、SLで4.6mm浮上すると計算された。

図-6に示すように、妙見トンネル延長方向55mが放水路トンネル交差部、80mが高速道トンネル交差部である。掘削により妙見トンネル天端は20mm前後沈下するが、交差部周辺ではその沈下量が減少する傾向にあることがわかる。高速道トンネルにより上載荷重が少ないこと、先行して地山

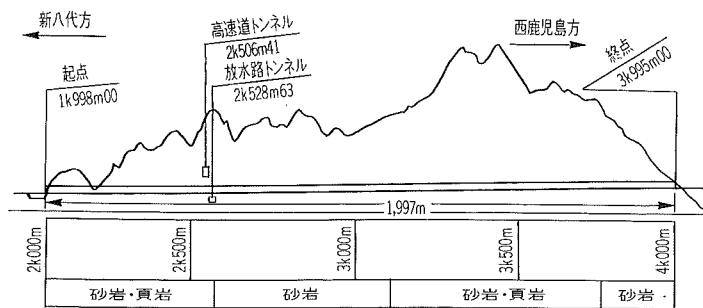


図-3 妙見トンネル全体図

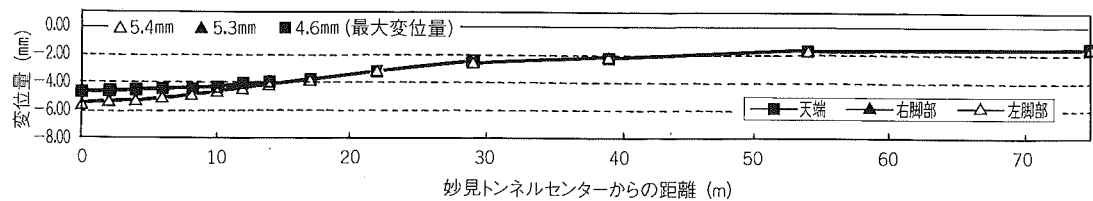


図-4 解析結果変位グラフ(高速道トンネル)

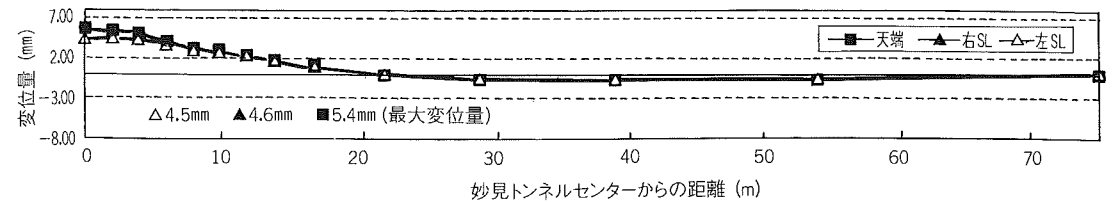


図-5 解析結果変位グラフ(放水路トンネル)

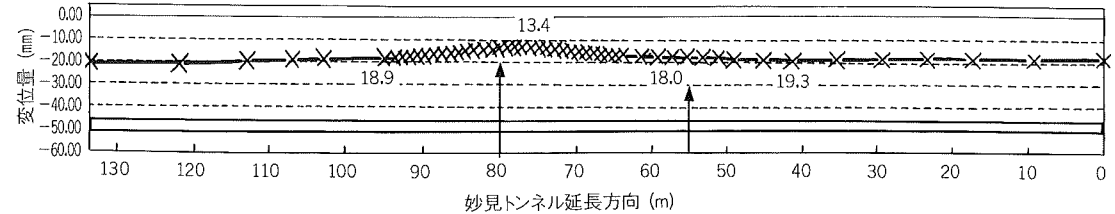


図-6 解析結果変位グラフ(妙見トンネル天端沈下)

が解放されていることによると考えられる。

6. 導水路トンネルの対策と協議

6-1 妙見トンネル掘削の影響範囲の設定

近接するトンネルの施工は、FEM解析により示したような静的な影響に加え、トンネル掘削に伴い振動が発生する。妙見トンネルは発破掘削であり、離隔2m程度では発破による動的影響を考慮する必要がある。

既設トンネル近接施工対策マニュアル¹⁾(以後「近接施工マニュアル」)によると、既設トンネルの近傍にトンネルを新設する場合、その距離や位置関係(高低)、施工方法、地質条件により既設トンネルに対する影響をランク付けして区分している(図-7)。

今回のケースは離隔が2m程度であり、地質状況にかかわらず要対策範囲とした。

6-2 施工前対策

水無川放水路トンネルは昭和40年代に在来工法で施工されたトンネルである。トンネル内空は7.0m、インバー

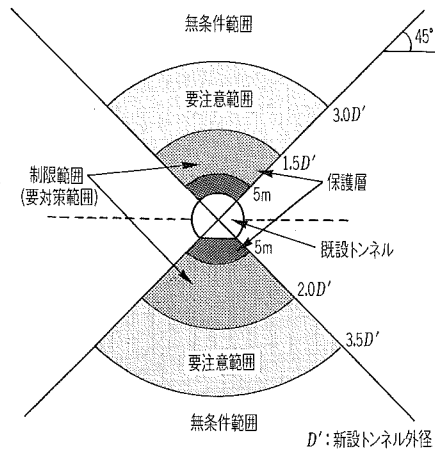


図-7 マニュアル影響範囲

ト付き、支保はH-200、二次覆工厚は40cmである。

在来工法の場合、一般的に地山と一次覆工との間に空隙が存在することが多く、今回のように離隔が小さい場合に空隙が存在すると、妙見トンネル掘削に伴う応力伝達が均等に放水路トンネルになされず、ある箇所に集中し放水路トンネルの構造に悪影響を及ぼす懸念があった。

事前のボーリング調査において、覆工裏の空隙が確認されており、これらのことから、空隙に対する注入を行った。

妙見トンネル施工前における、放水路トンネル管理者との協議事項は以下のとおりであった。

- ・放水路トンネル覆工クラックの事前調査
- ・妙見トンネル掘削による影響範囲の放水路トンネル覆工の補強
- ・補強工施工は河川渇水期、トンネル断面を極力侵さない構造とすること
- ・掘削時は放水路トンネルを計測管理すること

クラックの事前調査は、施工後に再び調査を行い、前後調査で明確な差異がある場合は、妙見トンネルの影響によるものとして補修などを行う基礎資料とするために行う。

補強工は、放水路トンネルの断面阻害を少なくするという制約がある中で、放水路トンネル覆工内面側にH-150支保を1mピッチで影響範囲40mにわたり配置し(写真-2)、インバート部にもストラットをわたして全体の剛性を上げる(写真-3)。

さらに、H形鋼支保と放水路トンネル覆工との隙間には木矢板を打設し密着させる。なお、この矢板はSLより上半のみに設置する(写真-4)。

放水路トンネル補強対策工縦断図を図-8に示す。注入および補強工を施す影響範囲の設定は、妙見トンネルSLから45°下方に線を引きその範囲内と定めた。



写真-2 放水路トンネル補強工(支保)

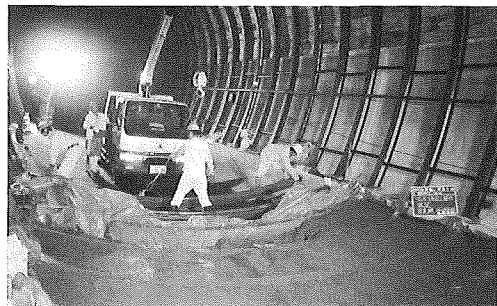


写真-3 放水路トンネル補強工(インバート)

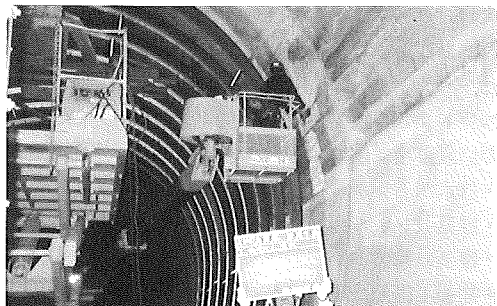


写真-4 放水路トンネル補強工(矢板)

この補強工は、交差部における妙見トンネルの掘削およびインバート、覆工の施工がすべて完了した段階の渇水期に撤去することとしている。

6-3 計測管理

妙見トンネル掘削による動的・静的影響を監視するために図-9に示すように振動計、内空変位を測定するためのターゲットを設けた。振動は0.1kine以上の振動を感知した段階で自動的にスイッチが入り、以後は常時振

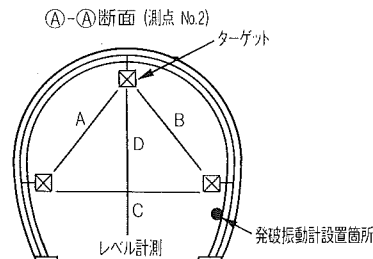
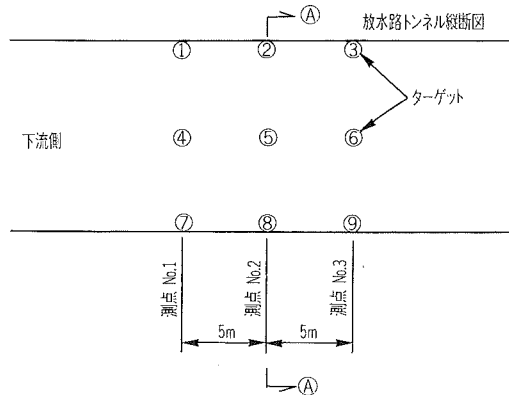


図-9 計測機器配置図

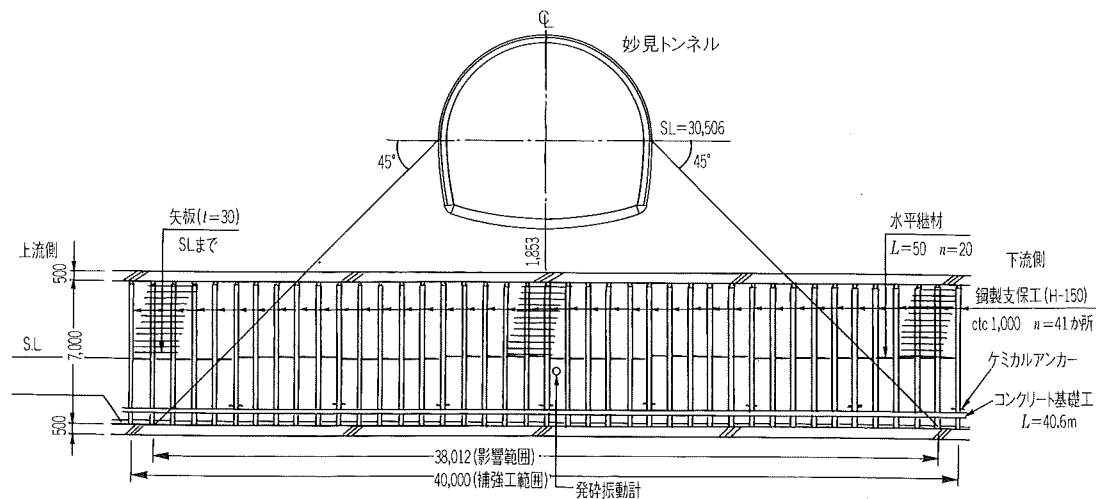


図-8 水無川放水路トンネル補強対策工縦断面図

表-1 計測管理レベル

	レベル 1	レベル 2	レベル 3
内空変位	4mm	6mm	8mm
発破振動	2kine	3kine	4kine

動計測を行うようになっている。

内空変位およびトンネルインバートの水準測量については、影響範囲外では2回/月の頻度で、影響範囲内では1回/日の頻度で測定する。

振動値および内空変位、レベル測量値は協議により3段階に管理レベルを設け(表-1)、妙見トンネルの施工時の対応を定めた。内空変位について、放水路トンネルには近接施工に関する許容値の取り決めがないため高速道トンネルの許容値である8mmを採用した。この値については後述する。

「近接マニュアル」にはコンクリートが破壊する振動値(変位速度振幅)は25~35kineと推定、安全率を考慮して2~4kineを許容値の目安としており、本トンネルに対してはこの値を発破振動値の許容値として採用した。

レベル1では通常どおりの掘削施工を行うが、レベル2になると妙見トンネル切羽では補助工法を検討し注入式フォアパイリングを実施する。レベル3になると切羽を直ちに止め、点検、補助工法を前述の注入式フォアパイリングに加え仮インバートを施し、かつ施工方法の技本の見直しを行うとしている。

7. 高速道トンネルの対策と協議

7-1 妙見トンネル掘削の影響範囲設定

高速道トンネルは上下2車線の自動車専用道路トンネルである。一次覆工はH-150、二次覆工厚は30cm、施工はNATMである。

「近接マニュアル」によると、離隔9.4mであるため要対策範囲に該当する。ところがこのトンネルは供用中であり常に車両が通行しており、放水路トンネルに施したような補強対策工が不可能である。よって妙見トンネル掘削に制御発破工法を採用し、対応を行うこととした。

7-2 計測管理

妙見トンネル施工前における、日本道路公団(以後、「道路公団」と略す)との協議事項は以下のとおりである。

- ・高速道トンネル覆工の事前クラック調査
- ・高速道トンネルを計測管理すること(計測項目は放水路トンネルに比べ増えている)
- ・沈下測定、内空変位、気温、発破振動
- ・覆工のクラック幅の変位および応力測定

計器はすべて自動計測、24時間監視。内空変位はレーザー測距計(図中■)を用い、沈下測定は差圧伝送器(図

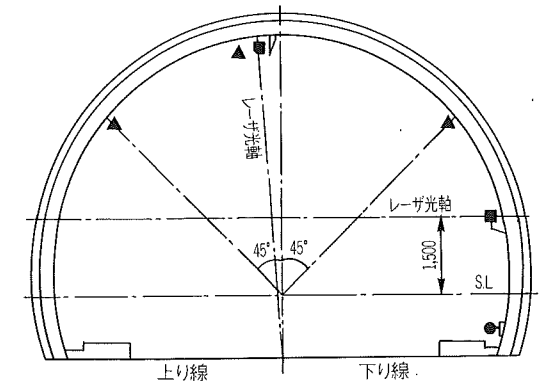


図-10 高速道トンネル計測器(1断面あたり)

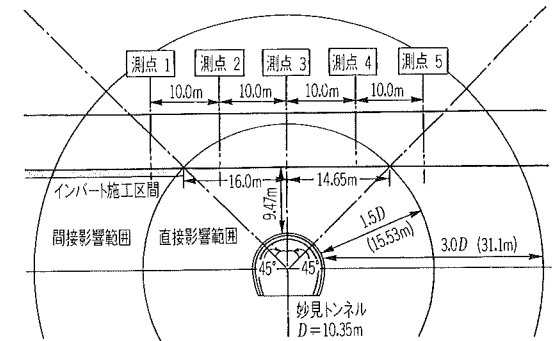


図-11 高速道トンネル計測器配置図

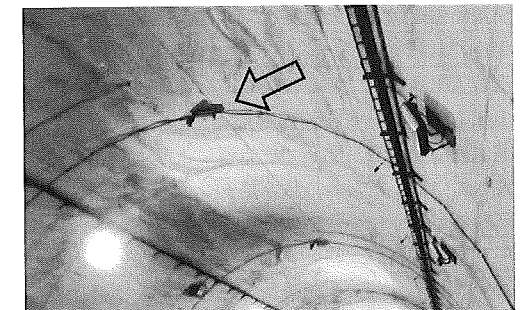


写真-5 高速道トンネル内に設置した計器

中●)を用いる。この計器は気温の影響を受けやすいことから、同じくトンネル内の気温を計測し補正に充てることとする。覆工クラックは亀裂変位計を、覆工応力は表面ひずみ計(図中▲)を用いている。

図-10, 11に計測器の配置図を示す。高速道トンネルに対する影響線を引き、その範囲をカバーする形で計測管理範囲を設定した。10mごとに1断面計測器を設置、計5断面に対して設置した(写真-5)。

なお、計測器設置および覆工クラック事前調査は、高速道トンネルの定期点検・清掃に伴う交通規制(片側交互通行)時に同時作業で対応している。

7-3 管理レベル

道路公団では、トンネル設計指針に近接施工に関する

表-2 高速道トンネル管理レベル

	レベル 1	レベル 2	レベル 3
天端沈下	4mm	6mm	8mm
覆工増加引張応力	0.5N/mm ²	0.75N/mm ²	1.0N/mm ²

考え方が盛り込まれており、内空変位の許容値を決めている。インバートがないトンネルでは天端沈下量の許容値は8mmである。発破振動値は放水路トンネルと同様4kineを管理値とした。

覆工の増加応力については、道路公団の設計指針に1.0N/mm²の許容値が示してあり、この値は「近接マニュアル」と同じ数値である。今回この値を管理値として設定した(表-2)。妙見トンネル施工の対応としては、放水路トンネルと同様である。

高速道トンネルの場合、レベル3の段階に入るとトンネル内を走行する車両の安全性の確保も直ちに行う必要がある。よって、交差影響範囲施工中は計測を強化するとともに施工者・道路管理者が一体となった監視体制を敷いた。詳しくは後述する。

8. 妙見トンネル施工

8-1 掘削パターン

交差部付近における妙見トンネルの掘削パターンは、支保H-125(1.0m ピッチ)、吹付けコンクリート厚12.5cm、二次覆工厚30cm、ロックボルト $l=3.0m$ を上半10本、下半4本としている(図-12)。

基本的に交差部を問わず、岩質によりトンネル構造を決定している。ただし、放水路トンネル交差部付近では離隔距離がとくに小さいことから、妙見トンネルのインバートを直下の放水路トンネルに影響のない構造としている。このインバート構造については別の機会に報告し

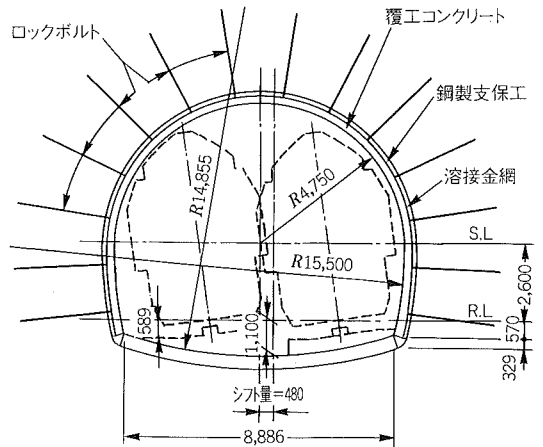


図-12 妙見トンネル標準断面図

たい。

8-2 制御発破

FEM解析では静的影響は把握できるが、発破に伴う動的影響である振動は評価するのが難しい。

交差部付近の地質は前述したとおり亀裂は多いが岩自体は非常に硬く、覆工で用いるコンクリートよりも強度がある。よって基本的に発破での掘削となる。当初はあまり振動を与えない機械掘削も検討したが、このような地質では影響範囲を機械掘削で突破するのに多大な時間を要することになるため発破での施工とした。

発破振動予測式は以下の式(伊藤式)を用いた。

$$A = C \times Q^{0.75} \div r^2$$

ここに、A: 振動速度(kine), Q: 1段あたり装薬量(kg), r: 発破点離隔, C: 発破係数(芯抜き500・払い300)

この式から管理レベル1以上の振動値が予測される範囲については振動を抑制することが必要と考えられるため、今回は制御発破工法を採用した。

これは通常の発破よりも孔間隔を密にするとともに、1孔あたりの爆薬量を減らし、かつ雷管は1/1,000秒オーダーで点火タイミングを自在に操作できるEDD雷管を用いている。これにより、爆薬同士で振動を互いに干渉し合うタイミングで発火し、全体の振動を抑えるというものである。

制御発破の孔数は通常発破の113%、1孔あたり装薬量はおおむね80%、1断面あたり装薬量は103%を設定。制御発破の実施区間は、算定式にもとづき1kineを超えると予測された高速道トンネル交差部の前後24mに実施することとした。

8-3 直接影響範囲の監視体制

補強工を施すことができなかった高速道トンネルに対しては、自動計測を行うこととしたが、仮にその計測器が異常値を感知した場合、その対応を事前に取り決めておかねばならない。

妙見トンネル施工に伴う直接影響範囲期間は、以下に示す管理体制を敷くこととした。

計測器が異常値を計測したとき、すぐに高速道トンネルに流入する車両を止めるために同トンネル出入口にガードマンを配置する。さらに交差部付近の点検を至急行うために、技術者1名、リフト車1台を現地に配置する(表-3)。

表-3 高速道トンネル監視体制

妙見トンネル切羽	JV職員
高速道トンネル	ガードマン2名+技術員
道路公団事務所	道路公団職員+技術員
鉄道公団事務所	鉄道公団職員



写真-6 道路公団事務所での監視状況

道路公団八代管理事務所、鉄道公団八代鉄道建設所、施工JV事務所においても常時職員を宿直させ、緊急時に備えることとした(写真-6)。

9. 放水路トンネル計測結果

平成13年7月3日に妙見トンネル切羽は放水路トンネルの影響範囲に入り、13日に交差、27日に影響範囲を無事通過した。

切羽が近づくにつれ振動値が増加したが、7月6日からは制御発破に切り替えたので、感知する振動値が減少しているのが図-13のグラフより読み取れる。なお、7月13日から数日間、振動値ゼロの日があるが、ここは地山が悪く掘削に発破が不要で振動値を感知しなかった。

その後、切羽が遠のくにつれ振動値が減少、8月10日以降は検知していない。

内空変位はSL位置での幅が減っており、天端高さは4mm程度増加した。放水路トンネル測量結果からはトンネル全体が5mm程度浮いていることがわかった(図-14)。

FEM解析の傾向と同じく、上に妙見トンネルを掘削したことで上載荷重が減ざられ、放水路トンネルが微小ながら縦に偏平になりつつ浮き上がったことを示している(図-15)。

10. 高速道トンネル計測結果

放水路トンネルへの影響範囲に突入した直後の平成13年7月4日、高速道トンネル影響範囲に妙見トンネル掘削切羽が入った。24日に交差、その後8月7日に影響範囲を無事抜けた。なお、制御発破は7月31日に終了し通常の発破掘削に切

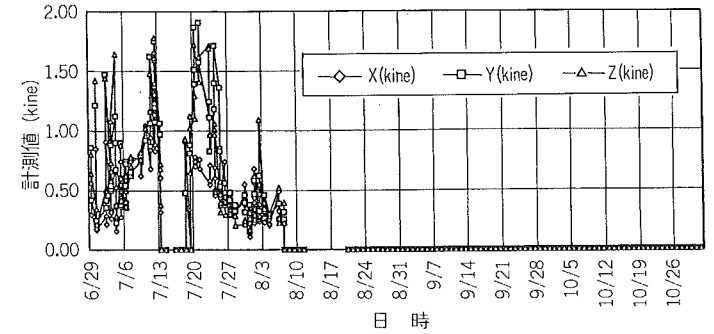


図-13 放水路トンネル振動値

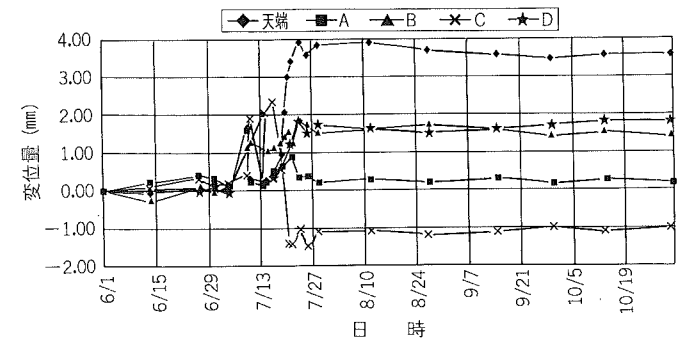


図-14 放水路トンネル内空変位

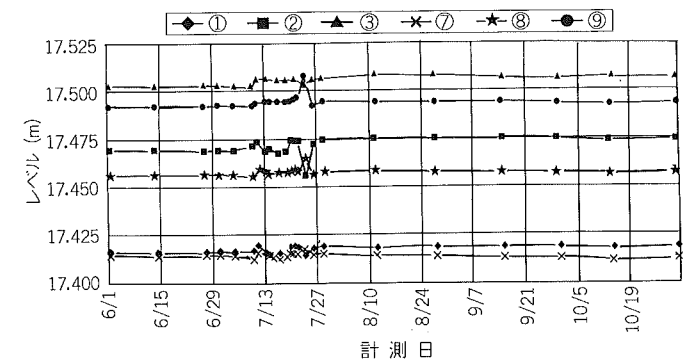


図-15 放水路トンネル沈下

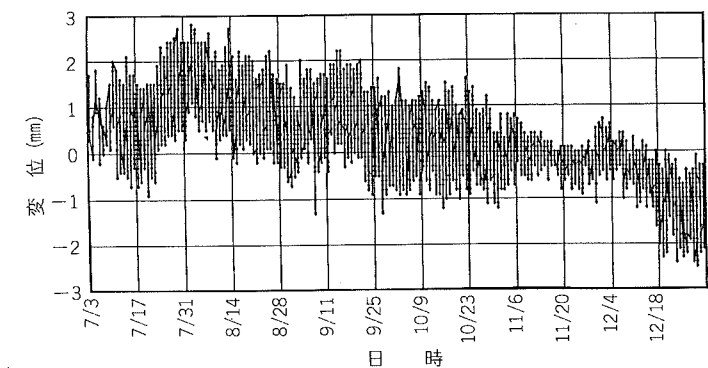


図-16 高速道トンネル内空(車道沈下・測点3)

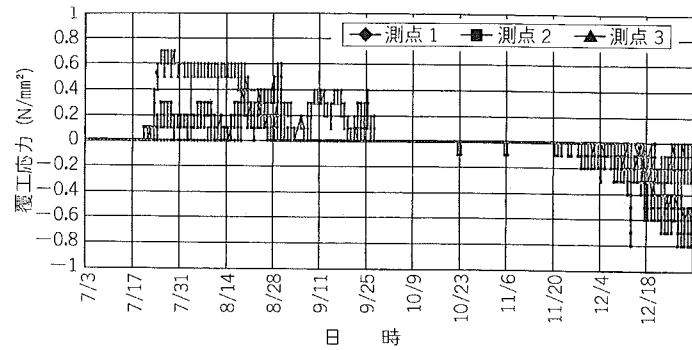


図-17 高速道トンネル覆工応力(測点3)

り替えている(図-16)。

車道沈下は7月24日の交差後に微小ながらも観察されている。また内空変位は0~-2mmの間の些少な推移を見せている。覆工応力については夏は増加、冬には減少の傾向であるがいずれも管理レベル上問題のない範囲である(図-17)。

11. おわりに

これまで述べてきたように、事故もなく、また放水路トンネル、高速道トンネルともに管理レベル1で影響範囲の掘削を終えることができた。

計測結果を見てみると、事前に行ったFEM解析の結果を若干下回る変位量を計測している。これは、FEM解析の条件である変形係数を低めに見積もっていたこと、施工では計測値が管理レベル1にある程度近づいた段階での補助工法の早期採用が考えられる。

影響範囲を妙見トンネル切羽が抜けた以後も両トンネルの変位などについて計測監視を続けているが、その変位は収束しており落ち着いた状態にある。しかしながら今後も妙見トンネルのインバート、覆工の施工を控えており、事故のないように更に注意深く管理したい。

両トンネルに対し与える影響を最小限に止めるという方針は同じであるが、人に乗せた車両が四六時中通行しているトンネルとの近接工事と、放水路という重

要なインフラ設備との近接工事では、構造物も管理手法も異なる。しかしながら協議は同時並行して行わなければならないことがもっとも苦労した点である。仮に、現在実用化が進められているCALSの恩恵を受けることができているならば、協議に用いる設計資料や図面の作成において、費やす時間・労力を少しでも減らすことができたのではないかと感じている。

最後に、放水路トンネル、高速道トンネルと、用途も構造も異なるトンネルの間での施工に際し、日々協議・打ち合わせに協力頂いた熊本県八代地域振興局土木部、日本道路公団八代管理事務所の皆様に御礼申し上げ、この報告を終えたい。

参考文献

- 1) 鉄道総合技術研究所：既設トンネル近接施工対策マニュアル, 1995.1.



施工 径5.1mのレイズボーラーで立坑を掘る
国道185号 休山トンネル換気立坑

方山 義彦* 原田 光則**
土屋 敏郎*** 武田 和徳****

1. はじめに

休山トンネルは、国道185号における呉市内中心部の交通渋滞解消を目的として平成9年度に着工し、平成14年春の供用を目指し現在施工中である。

換気方法としては、トンネル両坑口が人口密集地帯であるため、トンネル中央からの強制排気が必要不可欠となり、このため換気立坑(仕上がり径4.2m、延長130m)を設置する必要があった。換気立坑の掘削には、発破を一切使用しないレイズボーラー全断面工法(掘削径φ5,105mm)が採用された。同工法のこれまでの国内実績はφ4,740mmまでであり、今回採用したφ5,105mmの掘削径は過去最大のものとなる。

また、覆工に際しても、一次覆工から二次覆工への段取り替えは、工法が全く異なり、日数が掛かるため一次覆工で用いた吊り足場(以下、スカフォード)をそのまま二次覆工へ転用するという新しいシステムを構築することにより、経済的で短期間の施工が可能となった。

本稿では、休山立坑の概要を示すとともに、換気立坑の急速施工法として、国内最大径のレイズボーラー工法と、覆工の急速化施工について述べる。

2. 休山立坑の概要

国道185号線は、広島県呉市と三原市を結ぶ一般国道であり、瀬戸内海沿岸を結ぶ幹線道路となっている。しかし、呉市内の中央部と阿賀・広地区を結ぶ通称「呉越峠」と呼ばれる区間では、勾配が急で、急カーブも多く、さらに1日あたり約48,000台の交通が集中し、朝夕時の渋滞や交通事故の多発という課題を抱えている。

このため、この区間をトンネルで結ぶ休山改良事業が着手され、すでに休山トンネルは平成12年9月に貫通し

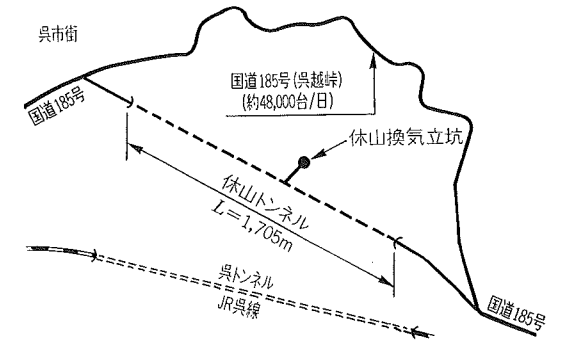


図-1 位置図

ている。この休山トンネルは、全長約1.7kmの市街地トンネルであり、坑口部には密集した民家や各種ライフラインがあり、本坑の施工には沈下対策や発破に伴う振動・騒音対策が講じられた¹⁾。

このように、両坑口とも民家が密集した状況のため、トンネル内の排気ガスをジェットファンで坑口より排出することは、環境面から困難となった。したがって、坑内空気を換気立坑により強制的に排出させる集中排気方法の採用が不可欠となり、本立坑が計画された。

休山立坑の位置図を図-1に示す。

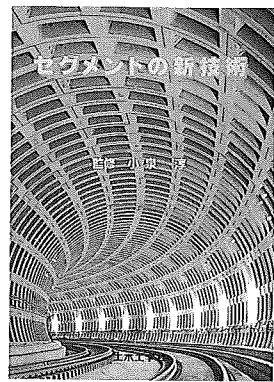
3. 国内最大径のレイズボーラー工法

3-1 レイズボーラー工法の概要

レイズボーラー工法とは、地上からパイロット孔を掘削した後、地下の横坑にてリーミングビットを取り付け、パイロット孔を地下から拡幅(リーミング)していく工法である。同工法の長所は、ずり処理が容易、かつ機械掘削のため切羽に作業員が入らないので安全面に優れている点が挙げられる。一方、短所は、工法的に坑壁の自立が必要不可欠であるが、掘削中における支保の施工が不可能なため、軟弱地質および破砕帯では施工が困難な点である。

立坑の施工方法としては、発破掘削全断面掘り下がり工法や小口径のレイズボーリング孔を利用する導坑先進

*国土交通省広島国道工事事務所工務課長
** " " 呉出張所長
*** (株)フジタ休山縦坑作業所所長
**** " " 監理技術者



セグメントの新技术

監修 小泉 淳

B5判 132頁 定価(本体価格2,000円+税) 円310円

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

株式会社 工本工学社 〒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

拡大掘削工法などが一般的であるが、休山立坑では実績の少ないレイズボラー全断面工法が採用された。その理由としては、①コスト的・工期的に従来工法より優れていること、②安全面で優れた工法であること、③地質的に堅硬な位置を選定しており、上部の地質不良箇所も薬液注入を併用することで坑壁の自立が可能で、が挙げられる。

換気立坑の規模と地質を図-2に、レイズボラー全断面工法と従来工法を図-3に示す。

3-2 当該地形・地質概要

計画地点は呉市街東部に位置する休山(標高501m)の北側に位置する。

背稜山地は標高200~500m程度で、山腹斜面は30°程度をなし、やや急であるが、山裾から中腹まで住宅地が広がっている。

主要地質は広島型の粗粒花崗岩で、施工基盤から深度5mまではマサ土、深度35mまではN値50前後の強風化岩盤、深度35mから117mにかけては、新鮮な岩盤と脆

弱な部分の互層となっている。深度117m以深は、一軸圧縮強度150MPaを超過するような硬質岩盤となる。地下水位は深度90m程度に認められた。

3-3 地盤改良工

掘削に先立ち、深度35mまでの強風化岩盤に対し、地盤改良を行う必要があった。その理由としては、①レイズボーリング時の坑壁自立の確保、②一次覆工(吹付け工)および二次覆工時の坑内作業員の安全確保、が挙げられる。

以上より、坑壁自立は当該立坑の成否に直接かわる問題であり、マサ化している地山の崩落や、湧水や浸透した表面水による風化部の流出が発生すると立坑掘削自体が困難となる。また、レイズボラー工法による掘削時には作業員が坑内に入ることはないが、一次・二次覆工時には入坑する必要があり、その際の作業員の安全確保も重要となる。したがって改良時には、壁面の安全な固結と遮水性能および覆工完了時までの効果の持続が要求される。

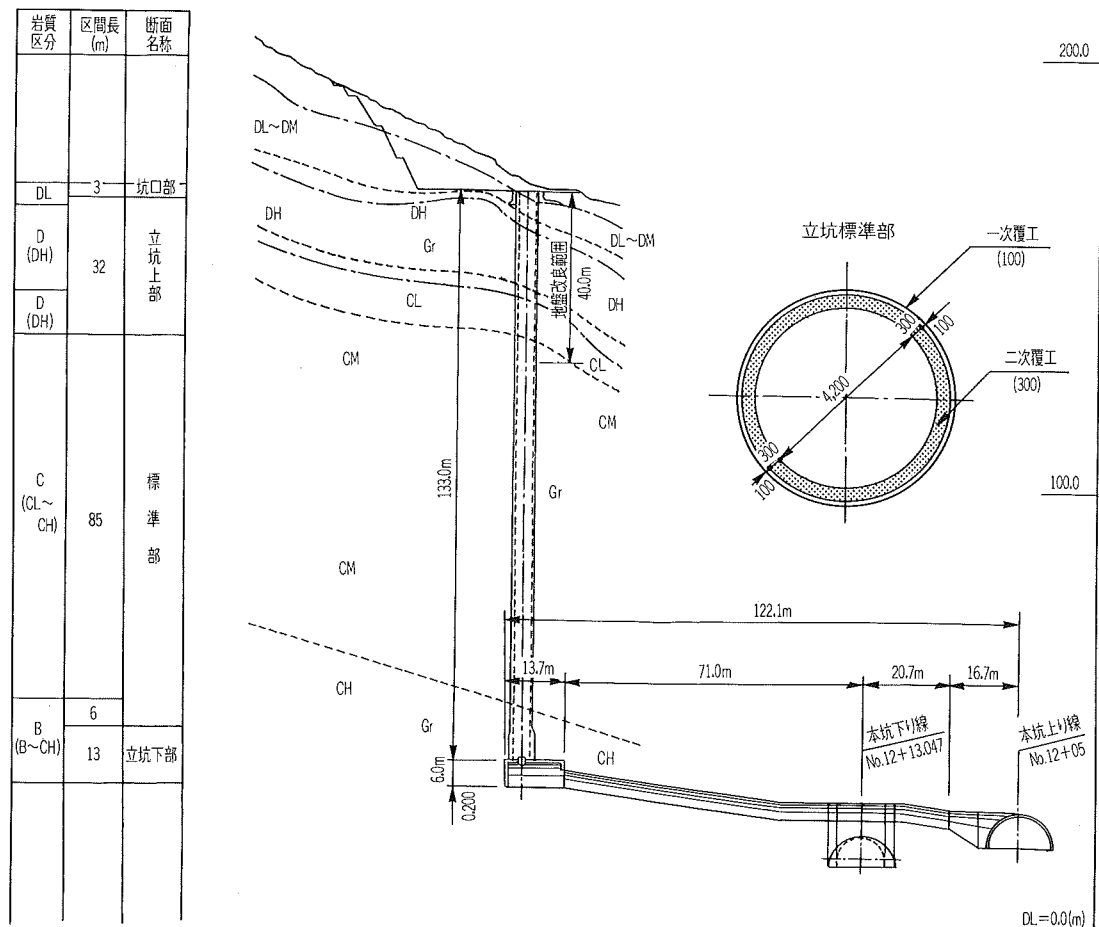


図-2 換気立坑の規模と地質

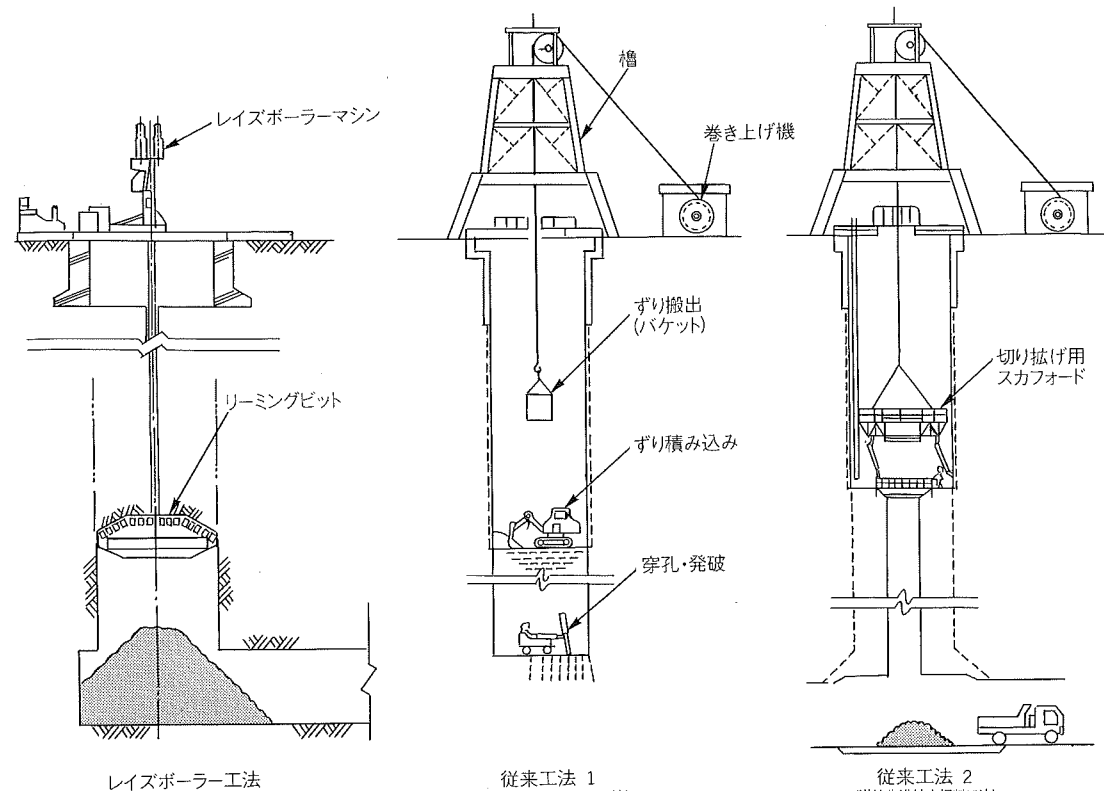


図-3 レイズボラー全断面工法と従来工法

このため、加圧性に優れ十分な浸透性注入の改良効果が期待できる二重管ダブルパッカー工法を採用、また、注入材は坑壁自立の必要強度として円筒モデルの応力度解析により求められた3.5N/mm²を満足し、さらに前述した効果の持続性を得ることが可能な超微粒子系の恒久グラウト材を使用した。

地盤改良工完了後、効果確認ボーリング(φ66mm)によるコアサンプルを用いて一軸圧縮強度を行った結果、σ₂₈=3.7N/mm²(マサ土部分の3本の平均)となり、必要強度を満足していた。さらに、覆工完了時点まで深度0~35mの強風化岩盤について崩落が認められず、坑壁の自立が確認された。

3-4 パイロット掘削工

今回使用したレイズボーリングマシン(写真-1)の機械能力を表-1に示す。

パイロット孔掘削には、φ381mmのチップインサート型トリコンビットを使用した。掘削用流体としてベントナイト泥水を循環させ、孔壁の保持・ビットの冷却洗浄・くり粉の排出を行った。

レイズボラー工法によるリーミング掘削の精度は、パイロット孔の施工精度で決定される。このため、孔曲

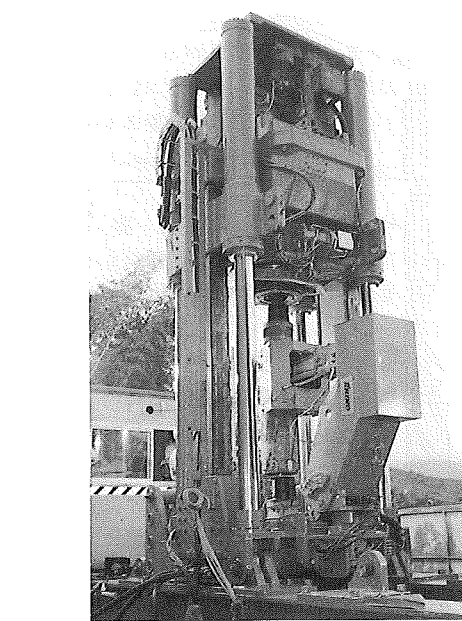


写真-1 レイズボーリングマシン

がりの発生しにくいロッド編成を採用し、また以下に示す各種の要因に対し適切な掘削管理を行うことで、精度

表-1 機械能力

パイロット径	φ381mm
リーミング径	Max φ6,000mm
トルク	Max 46.0tf・m
スラスト	Max 694.0tf
回転数	0~50rpm
入力電源	600kva
本体重量	24.1 t

の確保に努めた。

パイロット掘削時のロッド編成は、一般的にはスタビライザーの使用を2~3本とする場合が多いが、孔曲がりや抑制する目的で、図-4のとおりとした。ここで、孔曲がりが発生する要因としては、①不適切なビット荷重、②地質・強度の変化、が挙げられる。①に対しては、設定ビット荷重を許容ビット荷重の50%程度に抑え10tfとし、②に対しては、事前ボーリングのコアサンプルから岩質・強度を確認し、変化点の掘削時はさらにビット荷重を抑え5tf程度とした。

以上より、パイロット孔貫通時の偏心量は38cmで、掘削精度は掘削長130mに対し0.3%となり、施工前に予想された掘削精度0.5%を大幅に上回る結果となった(写真-2)。

また、当初懸念されたベントナイト泥水の逸水は見ら

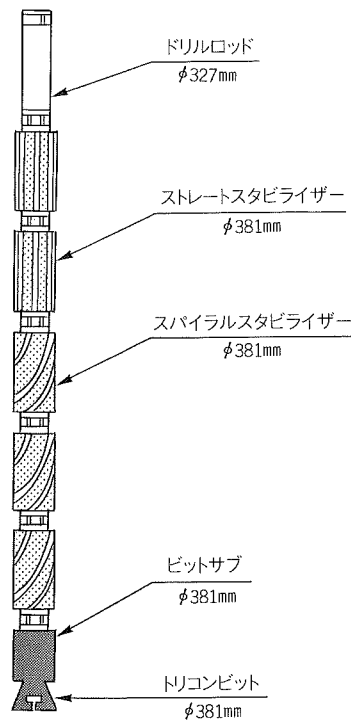


図-4 ロッド編成(パイロット掘削時)



写真-2 パイロット孔貫通

れなかった。

3-5 リーミング掘削

リーミング掘削は、ドリルストリングスの強度向上のため、ステムは図-5のとおりL=3.5mのロングステムを使用し、スタビライザーは通常のスタビライザーの他にリーミング専用のソリッドスタビライザー(1本)を使用した。リーミングビットは32個のチップインサート型ローラーカッターで構成されている(写真-3)。

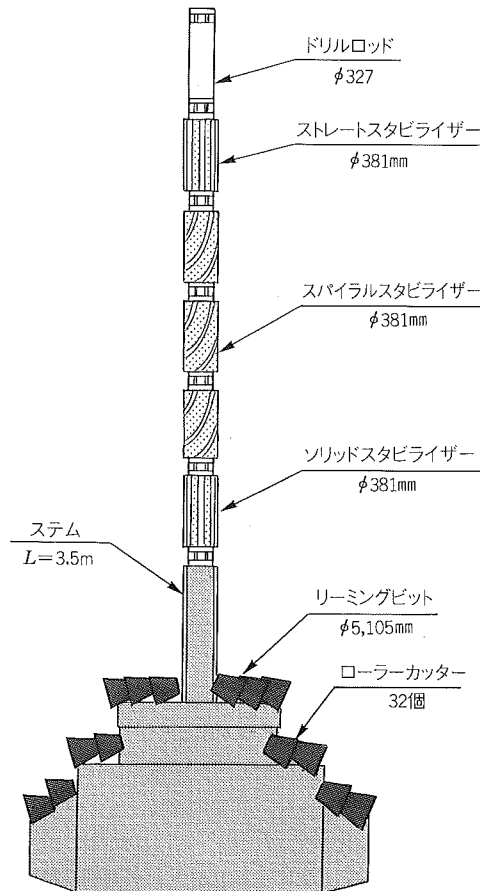


図-5 ロッド編成(リーミング掘削時)

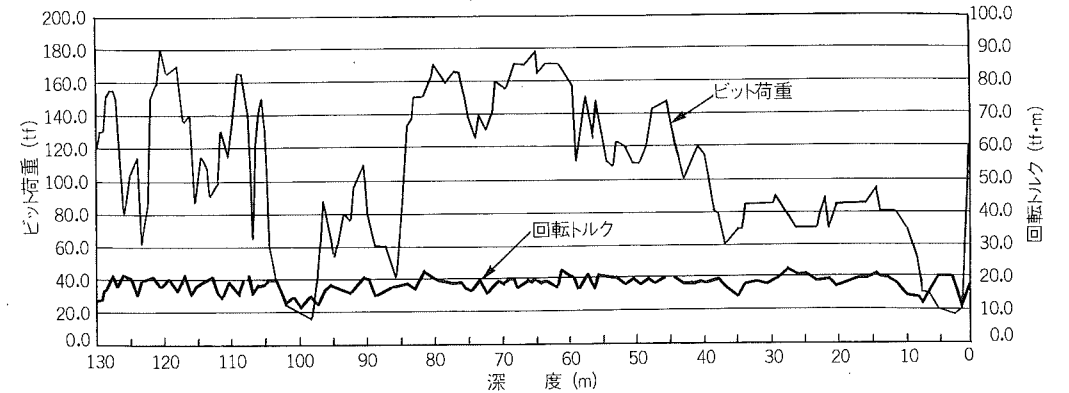


図-6 掘削深度と回転トルク・ビット荷重の相関

表-2 岩級別掘進量

岩級	深度(m)	パイロット掘削(m/日)	リーミング掘削(m/日)
D級	0~35	12.6	15.0
C級	35~117	7.6	3.9
B級	117~130	5.2	1.5
平均		8.0	4.0

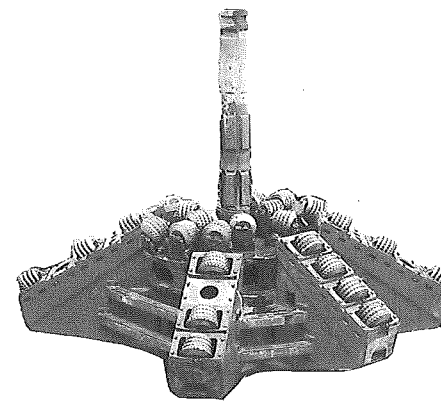


写真-3 リーミングビット

掘削深度と回転トルク・ビット荷重の相関を図-6に示す。回転トルクは15~20tfでほぼ一定ながら、ビット荷重は深度によって大きな差がある。これは、脆弱層では地山の崩壊や不連続面の存在によりリーミングビットが偏荷重を受け、ロッドやジョイント部が切断する危険があったため、意図的に荷重を下げたことによるものである。なお、リーミングビットの回転数は、掘削深度にかかわらず2.5~3rpmとした。

掘削初期段階では、パイロット孔壁から崩落した土砂がスタビライザーのブレード部およびその上部に堆積し、ロッドと孔壁間の隙間を埋めてしまったため、回転トルクが大幅に上昇し、そのたびにロッドを坑底まで降ろし、ロッドに付着している崩落土の除去を行った。さらに、25m掘削した時点では、回転トルクの変動が大きくなり、掘削速度が大幅に低下したため、ロッドを降管しローラカッターを点検したところ、摩耗したローラカッターが認められたため交換(4個)の必要があった。

当初、掘削ずりは場外搬出する計画であったが、休山トンネル歩道部への盛土材とすることでリサイクル事業を積極的に推進し、コスト削減を行った。

3-6 施工結果

掘削実績としては、立坑掘削延長130mに対して、パイロット掘削実日数16.2日、リーミング掘削実日数31.2日(いずれも24時間稼働)で施工を完了した。これは日数の実績としてはパイロット掘削が平均8.0mで、リーミング掘削が平均4.0mに相当する。また、各岩級ごとの掘進量を表-2に示すが、岩盤が硬質になるにつれ、掘進量が減少する傾向が見られる。

4. 立坑覆工の急速化施工

4-1 概要

従来の立坑覆工では、一次覆工としては移動式型枠か、吹付けコンクリートを使用しており、また、二次覆工については、連続打設工法(スリップフォーム工法)が主流となっているが、一次覆工から二次覆工への段取り替えに日数がかかり、仮設設備も柵などの設置で大規模なものとなる。

休山立坑は、上述したように大口径レイズボーリング工法を採用しており、掘削には従来の立坑施工に不可欠な柵などを組む必要はない。このため、コンクリート覆工方法についても工夫をすれば、全工期にわたり柵を組む必要がなく、軽微な設備で一次・二次覆工とも施工可能となる。

休山立坑で採用した立坑用急速覆工システムと従来工法を比較した場合の利点を下記に示す。

- ① 櫓などの大規模な仮設備が不要となる。
 - ② スカフォードの構造が簡易的なものとなる。
 - ③ 一次覆工から二次覆工への段取り替えが簡易となる。
 - ④ 二次覆工時の1日あたりの施工長が長くなる。
- ここでは、経済的であり、かつ工期短縮も図れる覆工の急速化施工について述べる。

4-2 一次覆工

一次覆工は、坑壁がレイズボーリング工法で掘削を終了した時点では無支保の状態であるため、地表側から連続的に吹付けコンクリートを打設した。

吹付けの施工方法としては、スカフォード上で手吹きとする方法や、ミニショベルのアームにノズルを搭載し、アームの旋回により吹付ける方法などが考えられる。しかし、手吹きはいうまでもなく、ミニショベルに搭載した場合でも、立坑坑内という狭隘な環境下での吹付け作業は、コンクリートのリバウンドや発生する粉塵により、作業員にとって大きな苦渋作業となる。また、ミニショベルに搭載した場合には、スカフォード上にミニショベルや湿式コンクリート吹付け機などを積載する必要があり、さらにミニショベルの動作の反力を確保する足場とする必要があるため、スカフォードを剛構造とする必要がある。しかし、剛構造とすることによりスカフォード部材の大型化が避けられず、支柱の裏側などで直接吹付け不可能な死角となる部分が発生する。

これより、深礎掘削における吹付けコンクリートの施工方法として開発された遠心力吹付け工法²⁾を一次覆工に採用した。この吹付け工法は、スカフォードから吊り下げて吹付け作業を行い、スカフォード上からの遠隔操作が可能であり、吹付け装置自体の重量も700kgf程度と軽量である。

さらに、圧縮空気を使用しないため粉塵の発生量が少ない。したがって、遠心力吹付け工法の使用により、①スカフォード下で吹付け作業を行うため、坑壁と吹付け機との間に足場などの障害物がなく、全周囲に均等な吹付けが可能となる。②作業員の作業空間にはリバウンドや粉塵が発生せず、苦渋作業から解放される。③スカフォードの軽量化が図れ、地上の巻き上げ設備も簡素化が図れる、という利点が得られる。図-7に一次覆工時のスカフォードを示す。

吹付け方法としては、全周にわたり同時に吹付ける方法と、一方向に集中的にコンクリートを吹付ける方法の選択が可能である。これにより、基本的に全周吹付けとし、キーブロックの崩落など部分的に坑壁が欠損した部分には一方向吹付けを行う施工方法とした。吹付け能力としては、実績として3~4m³/h、リバウンド率は15%

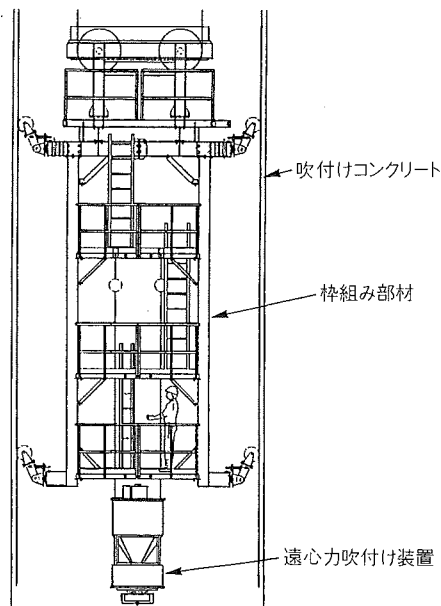


図-7 スカフォード(一次覆工)

表-3 コンクリートの種類

	呼び強度 (N/mm ²)	スランプ (cm)	最大骨材 (mm)	備考
一次覆工	18	10	15	N
二次覆工	18	12	40	BB

であった。

なお、昼間だけの施工とし、レディーミクストコンクリートを用いた。二次覆工を含めたコンクリートの種類を表-3に示す。

スカフォードまでのコンクリート供給は、2.9t吊り門型クレーンと1m³積みコンクリートホッパーを用いた。また、作業員の昇降は3人乗りのエレベーターを使用した。立坑覆工の仮設備を図-8に示す。

4-3 二次覆工

二次覆工の主流となっている連続打設工法は、一次覆工時の設備を撤去した後に新たな覆工設備を設置する必要があり、またコンクリートを断続的に打設するため、昼夜施工とならざるを得ない。

ここでは、一次覆工で用いたスカフォードを二次覆工にそのまま使用し、図-9に示すように、スカフォードの外周に型枠を上から吊り下げるという簡単な機構とした。

このため、一次覆工が終了した段階で、立坑下部の横坑内で遠心力吹付け装置を取り外し、二次覆工用型枠を組み上げ、スカフォード上部から吊り下げるだけで二次覆工が開始可能となり、実施工では4日間で段取り替え

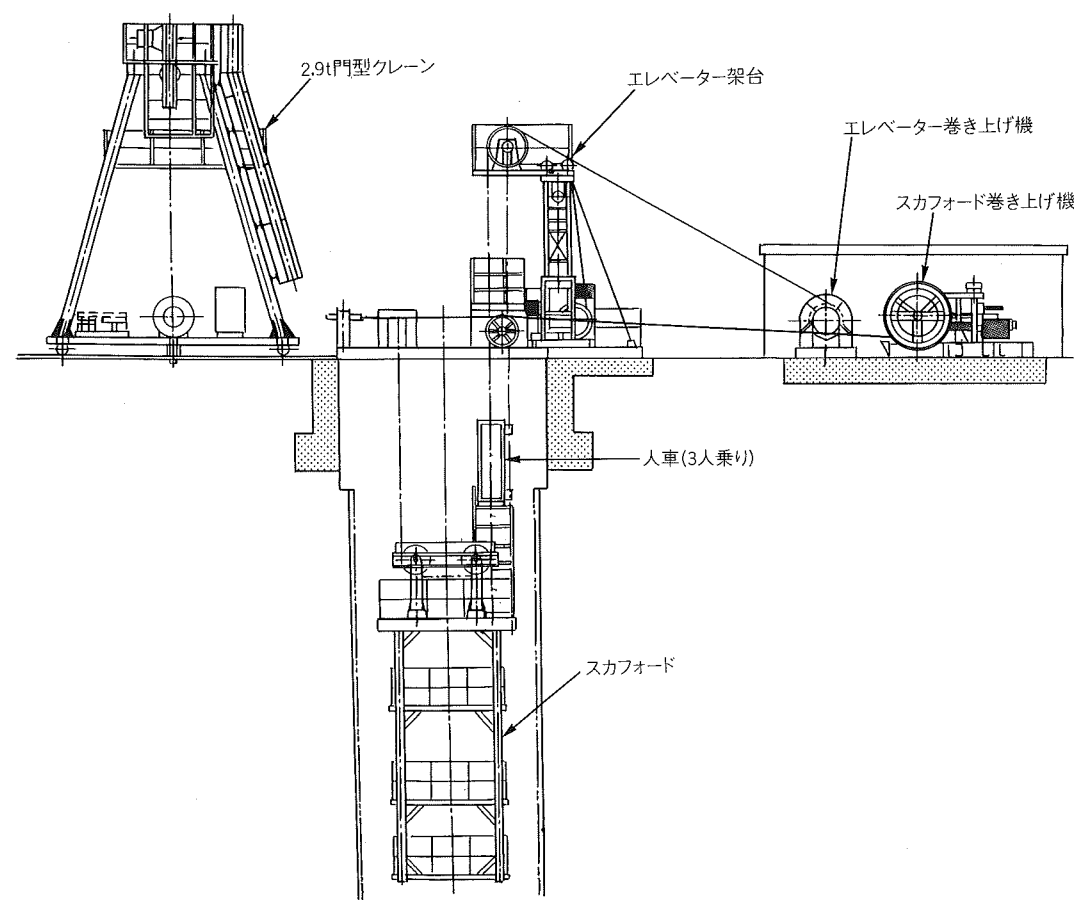


図-8 立坑覆工の仮設備

を完了し二次覆工に移ることができた。

サイクルタイムは、コンクリートの供給がクリティカルパスとなるために、深度によりコンクリート打設時間が変化するが、解体・移動に1時間、清掃・剝離材塗布・組み立てに2時間、深度100mでコンクリート打設に要する時間を6時間程度で計画し、型枠長さは4.5m(設計打設量25m³)とした。実施工では型枠組み立て時の重複部や型枠上部の余裕を除いても、1回のコンクリート打設で平均4.4mの打設が可能であった。これは、連続打設工法の昼夜施工で4m/日程度の進捗に比べ、昼間施工のみで十分な施工長を確保できる結果となった。また、深度が100m未満では型枠長を6.0mとしても十分打設が可能であった。

このため、夜間作業が不要となり、レディーミクストコンクリートで十分対応可能で、12時間以上の養生時間を得た後型枠を解体するため、コンクリートも十分硬化しており、コンクリート管理も容易であった。作業人員の編成を見ても、昼間のみ5人の作業で施工可能であったため、従来工法に比べ大幅な省力化が図れた。

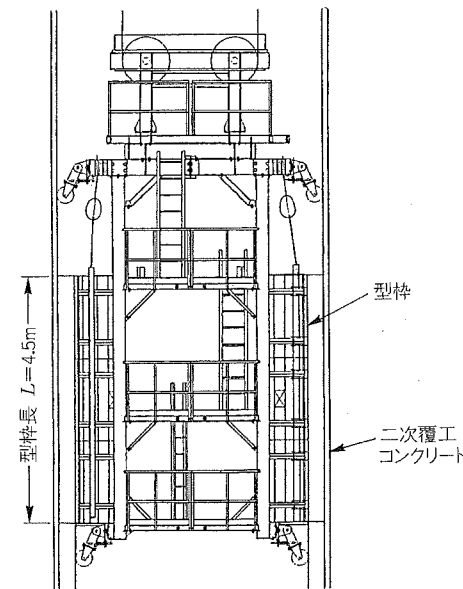


図-9 スカフォード(二次覆工)



写真-4 スカフォード(一次覆工)

写真-4,5 に一次・二次覆工時のスカフォードの状況を示す。

5. おわりに

ここでは、換気立坑の急速施工方法について、国内最大径となるレイズボーラー工法による機械掘削と、新しい発想による同一のスカフォードを用いた一次・二次覆工方法について示した。

今後、市街地近傍における道路トンネルでこのような



写真-5 スカフォード(二次覆工)

換気立坑の需要が増加するものと考えられる。本稿が、今後の換気立坑施工時の一助となれば幸いである。

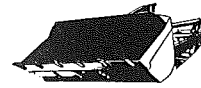
最後に、本トンネルの設計・施工に際し、ご意見・ご指導を頂いた「休山トンネル(仮称)施工検討委員会」の方々に厚くお礼申し上げる次第である。

参考文献

- 1) 山田周一・石川庄嗣・土屋敏郎: 制約条件の厳しい呉の市街地トンネル, 国道185号線道路改良休山トンネル西, トンネルと地下, Vol.31, No.5, pp.7-13, 2000.5.
2) 例えば, 深礎杭のモルタル吹き付けを機械化, 日経コンストラクション, 11/22号, 1996.

『トンネルと地下』投稿原稿応募のご案内

- 1. 原稿は当社所定の投稿規定により執筆して頂きます。投稿規定は、本年1月号(Vol.33, No.1)巻末に掲載されています。また、ご請求があり次第お送りします。
2. 原稿のボリュームは、原則として刷上がりで8頁以内とします(図・表・写真含む)。
3. 原稿掲載の採否は、本誌編集委員会で審査のうえ決定します。
4. 掲載論文については当社規定の原稿料をお送りします。
5. 原稿は、原則として返却いたしません。(注:「現場だより」の投稿は受け付けておりません)
送付先 株式会社土木工学社 編集部 投稿係 〒162-0832東京都新宿区岩戸町16 メイジャー神楽坂 電話 (03) 3267-2888(代)



施工 PCパネルによる新旧トンネル接合部の処理 国道229号 新豊浜トンネル

赤坂雄司* 佐々木博一** 盛春雄*** 志田孝司****

いたトンネル接合部の覆工工法について報告する。

1. はじめに

豊浜トンネルは、崩落した急斜面部を迂回し、隣接するセタカムイトンネルとをバイパストンネルで結び、一本の新豊浜トンネルとして、平成13年2月、被災から5年を経過して全面通行が開始された。

バイパストンネルと豊浜・セタカムイの両旧トンネルは、トンネル内で薄い交差角度(15°)で接合しているが、この接合部は超偏平大断面となるため、この部分の掘削は、車両の通行を確保したままプロテクターを用い、緩みを最小範囲に抑える加背割りで行った^{1)~3)}。

また、接合部の覆工は新トンネル開通後となるため、一般通行車両の規制をできるだけ少なくすることおよび早期の完成が求められた。

前報¹⁾(Vol.31, No.12)では、超偏平断面である接合部の設計・施工および計測結果について報告した。本稿では、新トンネル開通後、両旧トンネルの崩落側出口を閉塞した後に実施した、プレキャスト(PC)パネルを用

2. 概要

2-1 トンネル接合部

新豊浜トンネルと旧トンネルの平面図を図-1に示す。接合部は、「中壁部」および「打ち増し部」と称する部分に分かれている。トンネル接合部の超偏平断面を標準断面に戻すための手段が中壁の構築であり、この中壁部は両トンネル接合部とも延長L=40mで厚さ45cmのRC構造となっている。

また、打ち増し部は、豊浜トンネル側が延長L=70m、セタカムイトンネル側が延長L=53mであるが、新設トンネル接合部の覆工が40cmであるのに対して、既設セタカムイトンネルの覆工厚さは30cmである。また、既設豊浜トンネルは在来工法によるものであったため、これを10cm分だけ覆工厚さを打ち増しして接合部の構造的安定を図るものである。豊浜トンネル側、セタカムイトンネル側の接合部の平面図を図-2,3に示す。

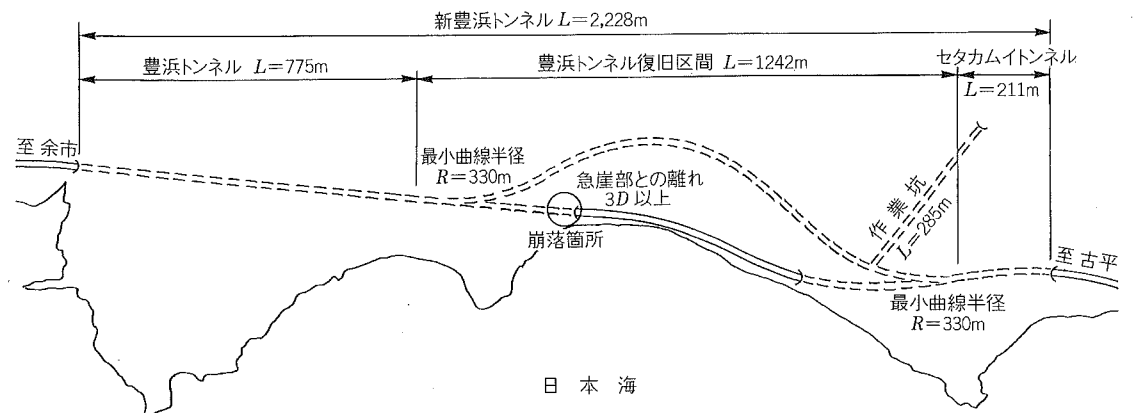


図-1 新豊浜トンネルの平面図

*前田建設工業(株)技術研究所研究第1グループ課長 **国土交通省北海道開発局小樽開発建設部小樽道路事務所技官 ***前田建設工業(株)北海道支店土木部部长(元)前田建設・草別組共同企業体豊浜トンネル作業所所長 **** " " 土木部主任(" 作業所主任)

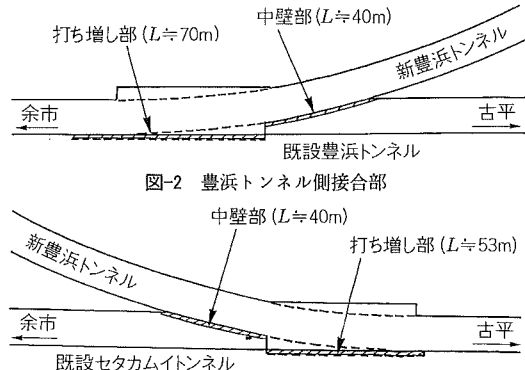


図-2 豊浜トンネル側接合部

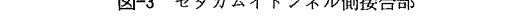


図-3 セタカムイトンネル側接合部

表-1 中壁部の覆工工法比較一覧表

	小割り PC パネル	RC PC 部材	セントル工法
工法概要	予め設置した支保鋼材に、PC パネルを取り付ける。	t=15cm 程度の比較的厚い、RC の PC 部材。	トンネルの一般的な覆工工法。
施工性	○	○	○
工期	○	○	△
通行規制	○	△	△
総合判断	◎	○	△

表-2 打ち増し部の覆工工法一覧表

	PC パネル工法	吹付け・左官工法	セントル工法
工法概要	アンカーで現況覆工に固定し、間隙にモルタルを充填	プレミックスタイプの補修用モルタルを2層に分けて施工する。	トンネルの一般的な覆工工法。
施工性	○	○	○
工期	○	△	△
通行規制	○	○	△
総合判断	◎	○	△

なお、接合部の覆工工法の選定にあたっては、従来のセントル工法、大阪の PC パネルを用いる工法、ならびに本採用工法などを比較検討した。その結果、安全で迅速な施工を最優先に考え、養生期間が不要であること、片側通行を確保しながら施工できることなどにより、比較的小さなパネル部材を用いた PC パネル工法を採用することとした。中壁部および打ち増し部の覆工工法の比較検討結果を表-1, 2 に示す。

2-2 覆工工法

中壁部は、厚さ 45cm の RC 構造であり、PC パネル設置後、背面に鉄筋を組み立て、コンクリートを打設する。また、既設トンネル覆工と中壁の間には、エアモルタルを打設し、トンネル接合部の安定を図る構造となっ

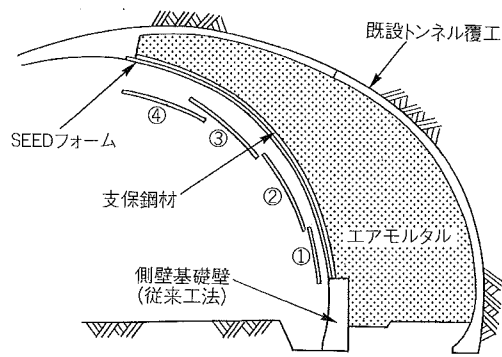


図-4 中壁部の構造

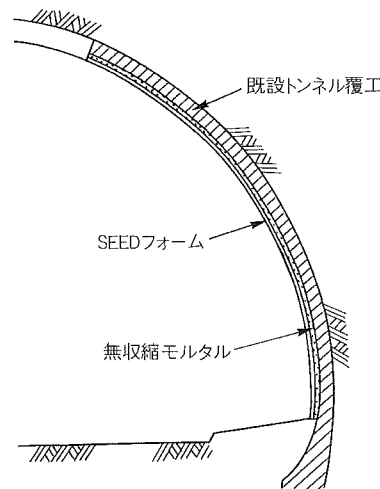


図-5 打ち増し部の構造

ている。

一方、打ち増し部は、それぞれのトンネルの覆工を 10cm 打ち増すものであり、PC パネルをケミカルアンカーで既設覆工に固定し、間隙に無収縮モルタルを充填して補強する構造となっている。中壁部、打ち増し部の構造を図-4, 5 に示す。

3. PC パネルとハンドリングマシン

3-1 PC パネル

中壁部の覆工に用いた PC パネルは、周長約 7.4m を円周方向に 4 分割し、標準パネルの寸法は 1.5m × 1.2m (216kg/枚) と 1.5m × 2m (360kg/枚) の 2 種類、厚さは 50mm である。PC パネルの概要を図-6 に、また PC パネルの仕様を表-3 に示す。

なお、打ち増し部は周長約 7.5m を円周方向に 4 分割し、標準パネルの寸法は 1.5m × 1.6m (288kg/枚) と 1.5m × 2.5m (450kg/枚) の 2 種類とした。

この PC パネルは、高強度モルタルとステンレスファイバーからなっており「SEED フォーム」と称するもの

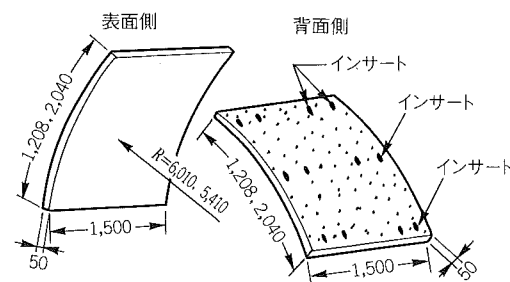


図-6 中壁部に使用した PC パネル (SEED フォーム)

表-3 SEED フォームの仕様

項	目	数量ほか
基材モルタル	水セメント比	30%
	単位セメント量	685kg/m ³
ステンレスファイバー混入量		2.5vol%
特性値	圧縮強度	70.0N/mm ²
	曲げ強度	12.0N/mm ²
	弾性係数	3.5 × 10 ⁴ N/mm ²
備考	・背面は打ち継ぎ面処理を実施	
	・質量: 120kg/m ²	
	・技審証 第0607号	

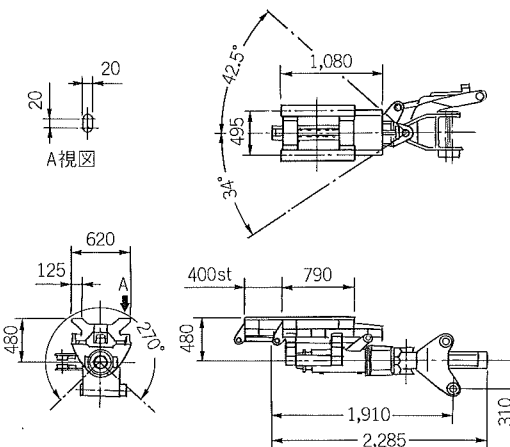


図-7 アタッチメントの形状・寸法

である。この SEED フォームは、(財)土木研究センターの技術審査証明を取得した高耐久性埋設型枠で、背面のコンクリートを打設する側には、後打設コンクリートとの一体性を確保するために目荒らし処理を施してある。

3-2 ハンドリングマシン

今回、PC パネルの設置のために、0.8m³ 級のパワーショベルのベースマシンに取り付ける専用のアタッチメントを製作した。これには、回転、スライド、首振りの機能を持たせた。また、PC パネルのアタッチメントへの取り付けには、2本のボルトを用いた。駆動は油圧と

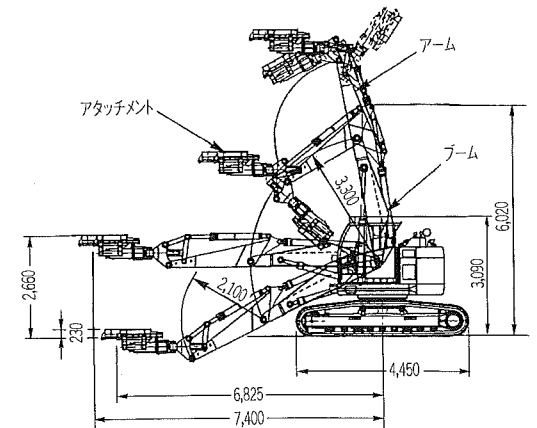


図-8 ベースマシンとアタッチメント

表-4 アタッチメントの仕様

	仕	様
アタッチメント	全長	2,285mm
	リフト角	上45.5度, 下106.5度
	前後スライド量	400mm
	スイング角	左42.5度, 右106.5度
	回転角	左右135度, 計270度
作業範囲	最大到達高さ	7,965mm
	最大到達半径	7,800mm

し、設置時の微調整が容易となるように、油量を絞って用いた。アタッチメントの形状・寸法を図-7 に示す。また、図-8 にはベースマシンとアタッチメントを、表-4 にはアタッチメントの仕様を示す。

4. 中壁部

新・旧トンネルと中壁の関係を図-9 に示す。新設トンネルの掘削は、活線状態での施工であり、掘削の影響が及ぶと考えられる範囲にプロテクターを設置して、既設トンネル部の隔壁となる覆工を解体しながら実施した(図中の表示なし)。その後、新設トンネル部の覆工を行い、中壁を構築し、背面側となる既設トンネル部をエアモルタルで充填して閉塞するものである。

また、中壁部の施工フローを図-10 に示す。

4-1 基礎壁および支保鋼材

天井部の受けアンカーの設置は、プロテクターのある時期に実施したが、側壁基礎壁の構築と支保鋼材の設置は、新トンネルへの通行切り替え後の昼夜片側通行期間中に、また、SEED フォームの取り付け～コンクリート打設は、全面交通解除後に夜間の片側通行規制を行って実施した。

中壁部の下部は現場打設の基礎壁を構築した。これは、

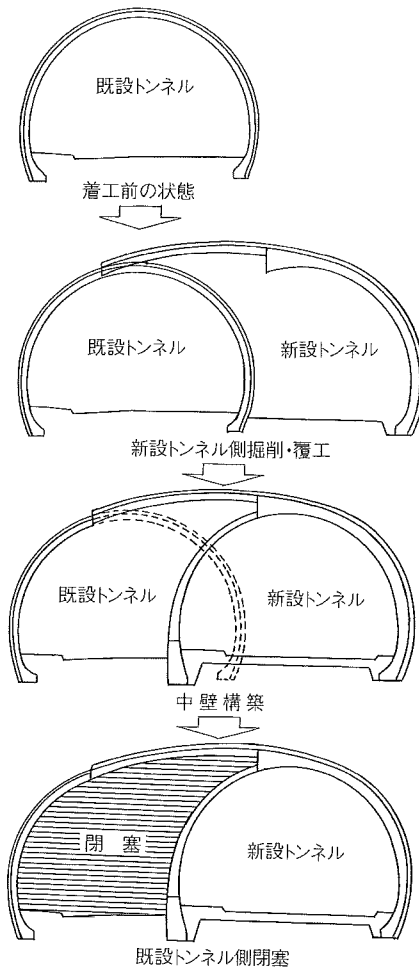


図-9 新・旧トンネルと中壁の関係

支保鋼材の位置調整、および安全性が確保できること、さらに歩道部と車道部の仕上げを迅速に行い、一般車両への交通解放時期を少しでも早くするためである。

支保鋼材は、ユニック車を用いて、あらかじめ天端に設置した受けアンカーに固定し、根底部で高さ・位置の調整を行って、径間パイプで間隔を保持しながら順次設置した。中壁部の構造を図-11に、支保鋼材設置状況を写真-1に示す。

4-2 SEED フォームの設置

取り付け機(ハンドリングマシン)と高所作業車、ユニック車の機械の配置を図-12に示す。SEED フォームは当日設置予定分を、設置の順番どおりに並べられて専用のラックに梱包した状態で、ユニック車で現場に搬入した。ユニック車の荷台から、自車のクレーンでSEED フォームを1枚ずつ荷台の後方に吊り降ろし、アタッチメントにボルト2本で固定した。

SEED フォームの設置は、操縦席の位置の関係上、ハ

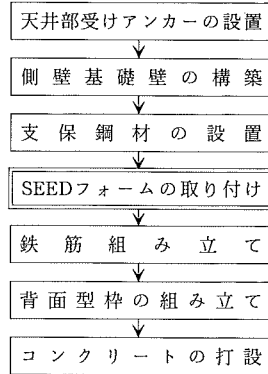


図-10 中壁部の施工フロー

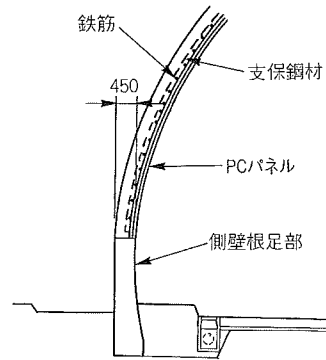


図-11 中壁の構造

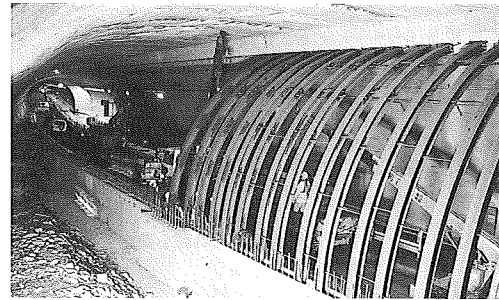


写真-1 支保鋼材設置状況

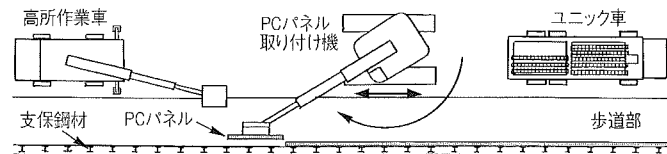


図-12 機械配置

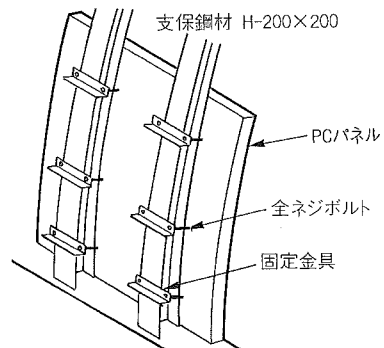


図-13 SEED フォームの固定要領

ンドリングマシンの左側で設置作業をする必要があったが、オペレーターと設置位置を調整する指示者とは、無線を用いて意志の疎通を図った。

中壁部のPCパネルは、1段目と2~4段目のパネルは寸法が異なり、設置手順は、1段目の最下段を先行して設置し、2段目以後は1ブロック分の完了となる12枚/日ずつを基本にして設置した。

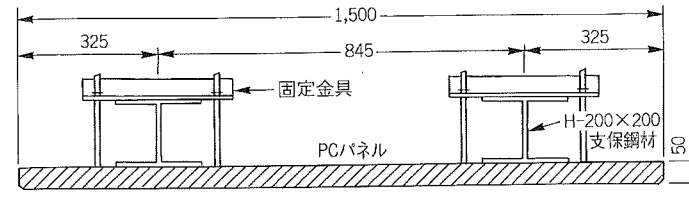


図-14 標準部材の取り付け

SEED フォームの支保鋼材への固定要領、および標準部材の取り付けを図-13, 14に示す。

SEED フォームには、あらかじめインサートが埋設されており、全ネジボルトを取り付け、固定金具をナットで締めて固定した。

なお、標準部材は長さがL=1.5mであり、取り付けの支保鋼材は2本であるが、各ブロックに1枚ずつ長さがL=2.1m程度の役もの部材があり、これには3本の支保鋼材を設置して固定した。

また、パネルの上下左右は、各パネルの出入りや開きなどの設置精度の確保とコンクリート打設のために、隣接パネルの表側をプレートで連結した。なお、このプレートは、コンクリート打設後取り外した。

SEED フォームの設置は、豊浜側、セタカムイ側の2パーティで同時に進めた。施工実績は、次のとおりである。

- ・豊浜側 96枚(296m²)/9日=10.7枚/日
- ・セタカムイ側 96枚(295m²)/8.5日=11.3枚/日
- 計 192枚(591m²)/17.5日=10.97枚/日

午後9時から午前6時までの夜間規制時間内の段取り

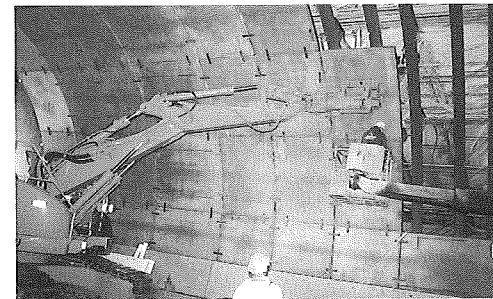


写真-2 SEED フォームの設置状況(豊浜トンネル側)



写真-3 背面側でのパネルの固定状況

・片づけを除いて実作業時間は6.5時間であり、平均すると1パネルあたりの設置時間は40分/枚となる。ただし、パネル取り付けだけを見れば、10分/枚程度で終了したものもあった。なお、1か所には96枚のSEED フォームを設置したが、パネル設置箇所はカーブ区間であり、

さらに縦断方向の勾配もあったため、目地を合わせるのに若干苦勞した。

SEED フォームの設置状況を写真-2に、背面側でのパネルの固定状況を写真-3に示す。

4-3 コンクリート打設およびエアモルタルの打設

SEED フォームを設置した後、鉄筋の組み立てや簡易型枠などの設置作業などを背面で行った。

支保鋼材には径間パイプが設置されていたため、これを段取り筋代わりにして、鉄筋を組み立てた。また、コンクリートは鉛直高さにして約2.5mずつ、3回に分けて打設した。なお、目地部の処理はSEED フォーム間の目地の開きの大きい部分のみ、背面からモルタルを塗布して処理した。

コンクリート打設完了後、約100m³/日でエアモルタルを1か所で約2,300m³打設し、最後に妻部のコンクリートを打設して、閉塞工を完了した。

5. 打ち増し部

打ち増し部の施工フローおよび構造を図-15, 16に示す。

5-1 ウォータージェットによる目荒らし

既設トンネル覆工の洗浄・目荒らしは、圧力150MPaのウォータージェットを用いて実施した。これは覆工表面のはつりを目的としたものではなく、表面の脆弱部の除去や清掃を主に考えて実施したものである。

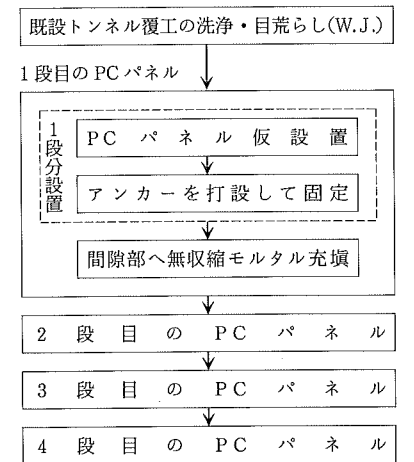


図-15 施工フロー

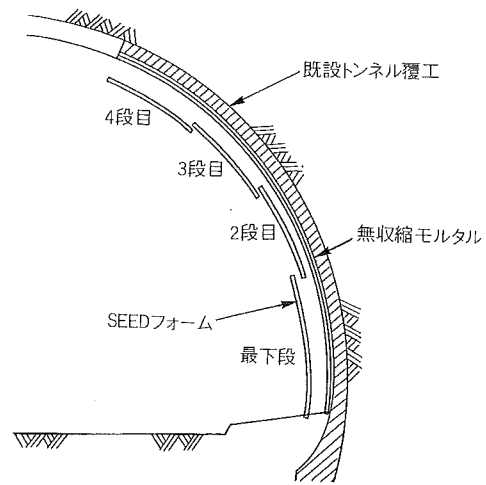


図-16 打ち増し部の構造

実績では、1,050m²の既設トンネル覆工面を2基のジェットガンを用いて、4日程度で処理を終えている。

5-2 SEED フォームの設置

打ち増し部に設置したSEEDフォームは、中壁部が背面からの作業であったのと異なり、表側からのみの作業であった。このため、SEEDフォームには貫通孔を設け、位置合わせが終わった後、ケミカルアンカーを既設トンネル覆工に打設して、プレートを通して確実に固定する方法とした。

なお、1~3段目までは、無収縮モルタルを上部の開口から自然流下で充填し、最上段は閉塞された間隙へ充填した。必要なアンカーの径・本数は、各段のパネルの充填で、無収縮モルタルの側圧を荷重として求め、1パネルあたり4~6か所とした。

打ち増し部に使用したSEEDフォームを図-17に示す。

使用したアンカーは、同じ引き抜き耐力を得るのであれば、機械式のものより穿孔径が小さいケミカル式のアンカーを用いることとした。また、冬の北海道での工事であり、寒冷地用を用いたが、トンネル内の気温は、-5~+5℃であったため、試験的に数本打設して、気温と硬化時間・引き抜き耐力を把握した。この結果、打

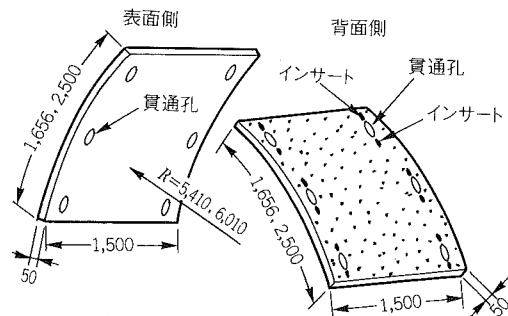


図-17 打ち増し部のSEEDフォーム

設後30分でほぼ所定の引き抜き耐力が得られることがわかった。なお、トンネル内に露出するボルト・ナット、プレートなどの金物は、腐食が懸念されるため、錆びにくいステンレス製を用いた。

ケミカルアンカーによるSEEDフォームの固定要領を図-18に、ケミカルアンカーの打設状況およびケミカルアンカーのボルト径を写真-4、表-5に示す。

1段目のSEEDフォームは地上での穿孔・打設であり、足場も良く、安定した姿勢で作業できたが、2段目より上では、高所作業車のゴンドラ内からの作業となり、また、横向きから斜め上方向への打設となって、作業性は悪くなった。また、既設のFRP製の補強ボルトにあたって、ケミカルアンカーが打設できない箇所は、脇にSEEDフォームを直接穿孔して打設した。

打ち増し部のSEEDフォームの設置は、中壁部と同じ設置機械、機械配置で実施し、豊浜トンネル側、セタ

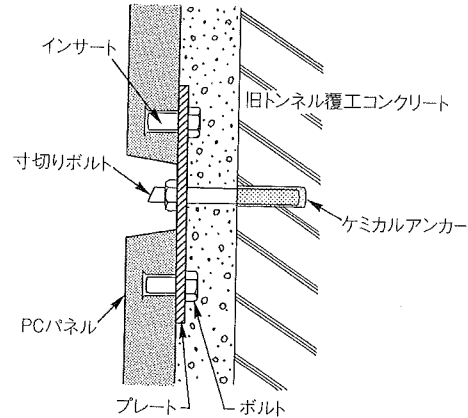


図-18 ケミカルアンカーによる固定要領

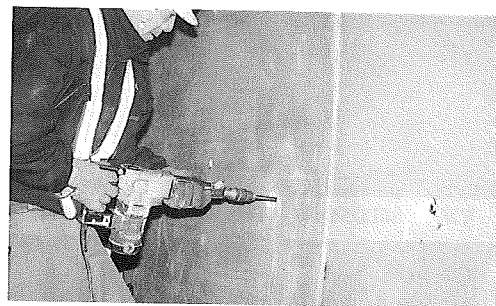


写真-4 ケミカルアンカー打設状況

表-5 ケミカルアンカーのボルト径

	ボルト	穿孔径
4段目	M16	穿孔径20mm, 穿孔長130mm
2, 3段目	M12	穿孔径16mm, 穿孔長100mm
最下段	M12	穿孔径16mm, 穿孔長100mm

※寒冷地用を使用。

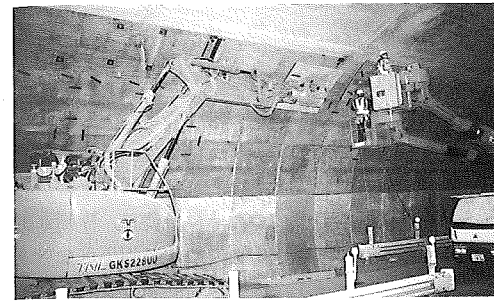


写真-5 打ち増し部の設置状況(豊浜トンネル側)

カムイトンネル側の2パーティータンネルで同時に進めた。両打ち増し部の施工実績は、次のとおりであった。

- ・豊浜側 192枚(533m²)/22日=8.7枚/日
- ・セタカムイ側 140枚(404m²)/20日=7.0枚/日
- 計 332枚(9.7m²)/42日=7.9枚/日

実作業時間6.5時間では、平均すると1パネルあたりの設置時間は57分/枚であった。ただし、スムーズに設置ができたときには、15分/枚程度のときもあった。

なお、中壁部は曲線区間であったのに対し、打ち増し部は直線区間であった。このため、目地を合わせるのには中壁部に比較して容易であったが、既設のFRP製の補強ボルトが邪魔になって頭部を切断したり、ケミカルアンカーを打設しながらの設置作業であり、また、後工程の無収縮モルタルの充填のための目地のコーキングを行いながらであったため、1枚あたりでは中壁部より時間を必要とした。打ち増し部の設置状況を写真-5に示す。

5-3 無収縮モルタル

無収縮モルタルの配合を表-6に、ミキサとポンプの仕様を表-7に示す。

使用した材料は、セメント、細骨材、急結性混和材(剤)をプレミックスした製品(荷姿25kg袋)で、現場では水を加えて混合・攪拌すれば良い状態となったものである。今回使用したものは、緊急・寒冷地用で、硬化時間(可使時間)が短く、時間調整のためにセッター(遅延剤)をあらかじめ水に溶解させて使用した。なお、この材料は、室内試験では、養生温度0℃のとき、材齢28日で40N/mm²以上、養生温度-5℃のとき、材齢28日で30N/mm²以上の強度発現が確認されているものであった。ただし、硬化前に凍結させた場合は、強度発現は期待できない。

また、実施工前にセッター添加量を定める目的で、試験練りを実施したが、実施工では、練りませ量の違いやミキサの周囲に付着したモルタルの影響などによって、硬化時間(可使時間)が早くなる傾向にあるため、施工時にも硬化時間のチェックが必要であり、場合によっては、セッター水を多くするなどの処置が必要である。

表-6 無収縮モルタルの配合

Jロート 流下時間 (秒)	水・ 結合材比 W/CT	単 位 量 (kg/m ³)			凝結調整剤 Ad
		セメント系 硬化剤CT	砂 S	水 W	
8±2	44	650	1,300	286	CT×0.1%
備 考		・セメント系硬化剤；硬化剤と砂の重量比=1:2 ・硬化開始時間が60分程度となるように調整 ・プレミックスタイプの寒冷地用			

表-7 ミキサとポンプの仕様

	仕 様	
(グラウト)ミキサ	混練量	200ℓ
	回転数	750r.p.m
	モーター	3.7kW
(グラウト)ポンプ	吐出能力	1.5~6m ³ /hr
	型 式	スクイズ式
	モーター	7.5kW

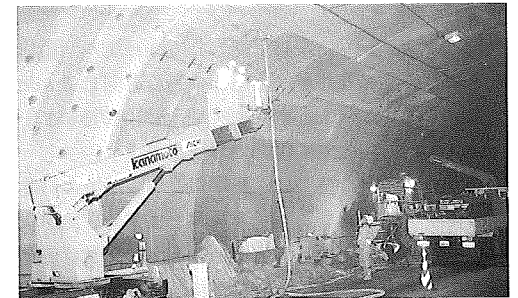


写真-6 無収縮モルタルの充填状況

なお、無収縮モルタルの充填では、先行して現場で練った先送りのセメントミルクを圧送した。

充填方法は、最下段、2,3段では、上部の開口からの自然流下で行い、開口部のない最上段(4段目)は、充填孔から注入する方法で行った。1回の充填は、SEEDフォームの高さと施工目地で囲まれた範囲となり、またミキサや配管内の閉塞が懸念されたため、練り始めから充填終了までの時間が3時間以内となるように計画した。充填実績としては、2~3m³/回ずつ程度であった。

なお、水平目地、鉛直目地、およびケミカルアンカーのナット部などは、樹脂系材料でコーキング処理した。また、開口部のない最上段(4段目)への無収縮モルタルの充填は、注入ホースの先端部分に圧力計を取り付け、所定の圧力内に収まるように管理して行った。

確実な充填のため、最後に手押しポンプを用いて小さな空隙部分への充填を行った。

施工結果は、SEEDフォームと既設覆工との間隙が設計の50mmより大きい箇所もあり、トータルでの実充填量は設計量の1.13倍程度であった。

無収縮モルタルの充填状況を写真-6に示す。

6. ま と め

今回の SEED フォームを用いたトンネル接合部(中壁部, 打ち増し部)の施工結果などをまとめると次のようになる。

- 取り付け機は、アタッチメントの部分に回転、首振り、スライドの機構を持たせたが、上下動や旋回はベアマシンによるものであった。もう少し自由度があって、調整量が多いと使い勝手は良かったものの、ほぼ満足できるものであった。
- パネルは、寸法が1.5m×1.2~2.5m、質量で200~400kg程度で比較的扱いやすい大きさ、質量であった。
- SEED フォームの設置時間は、もっとも早いものでは、設置だけの時間が10分/枚というときもあったが、平均すると中壁部で40分/枚、打ち増し部で57分/枚であった。
- SEED フォームの設置精度として、パネル間の目開きをチェックしたが、中壁部の鉛直方向で5~6mm、水平方向で2~3mm、打ち増し部は鉛直方向で5~6mm、水平方向で3mm程度であった。
- 今回の接合部の覆工は、海岸に近い場所での厳冬の夜間施工であり、トンネル内とは言え、風が吹き抜けて、かなり温度が下がることが予想され、ケミカルアンカーの硬化や充填モルタルの硬化不良などが懸念された。しかし、トンネル坑口付近は接合部よりも若干気温が下がったものの、凍結などのトラブルもなく施工が完了した。
- 当初の予定どおり、夜間の片側通行規制のみで、中壁部、打ち増し部ともに施工を完了することができた(写真-7)。

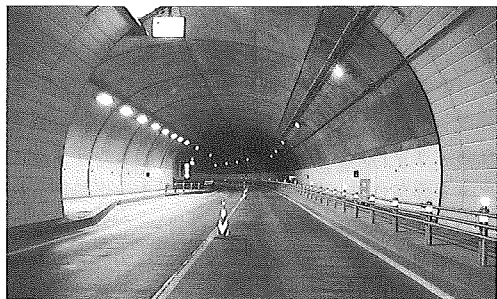


写真-7 覆工完了後の打ち増し部および中壁部の状況(豊浜側)

7. お わ り に

ここまで、PCパネル(SEED フォーム)を用いたトンネル接合部の覆工工法について述べてきた。

通常のセントルを用いた覆工工法では、それぞれの接合部へのセントルの設置・解体時に全面通行止めが必要であり、さらに数か月間にわたって、終日、片側車線の規制を必要とするが、今回実施した比較的小さなパネルを用いたプレキャスト工法では、短期間の夜間規制のみで施工することができ、一般通行車両への影響を最小限に抑えることができた。

なお、今回のPCパネル工法を実施するにあたり、事前に、工場で中壁部の支保鋼材をアーチ状に組み立て、製作したハンドリングマシン(アタッチメント)の作動確認を兼ねて施工(組み立て)試験を実施している。このときの問題点の洗い出しによって、アタッチメントに若干の改良を行い、また施工手順の確認などを行うことができ、実施工に大いに役立った。

今回の工事は、活線状況下での施工であったため、通行規制は必要であったものの、交通を遮断することなく、また工事期間を通じて大きな障害もなく、無事に新・旧トンネルを接合し、バイパスとなった新トンネルへ交通を切り替えることができた。この間、施工計画・工法の選定にあたっては、安全で迅速な施工を優先に考え、十分に検討を重ね、慎重に計画を立てた。また、施工に際しては、事前の解析や各種計測機器によるモニタリング、その後の予測を行い、最善の方策を取ってきた。

また、ここで述べた接合部の覆工には、3か月程度の工期を要したが、これはほぼ当初の予定とおりであった。今回の新・旧トンネルの接合(掘削)工やここで報告したSEED フォーム(PCパネル)を用いた覆工工法が、今後増大することが予想されるトンネルのリニューアルや拡幅工事などの参考になれば幸いである。

参 考 文 献

- 1) 佐々木博一・鷹田雅宏・盛春雄・仲井幹雄：既設トンネル内での分岐部の設計と施工，国道229号 新豊浜トンネル，トンネルと地下，Vol.31，No.12，2000.12.
- 2) 仲井幹雄・西山秀則・佐々木博一・盛春雄・志田孝司：新豊浜トンネル分岐部の設計と施工，土木学会第55回年次学術講演会 CS部門，2000.9.
- 3) 盛春雄・志田孝司・仲井幹雄：新豊浜トンネル分岐部の施工，第46回施工体験発表会(山岳)特殊条件下におけるトンネル施工-テキスト，(社)日本トンネル技術協会，2000.11.



7.5km 長距離シールドトンネルの工事概要
チャンネルトンネルレールリンク220工区

阿野 豊* 宇津木 薫**
南 敏文***

1. は じ め に

英国・ロンドンとヨーロッパを結ぶユーロスターは、英国国内では国鉄在来線を利用しているため高速化が図れていない。このため、英国はPFI事業でフォークストンとロンドン・セントパンクラス駅間109kmで高速新線の建設を進めている。

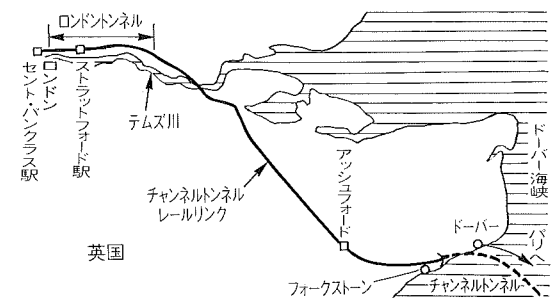


図-1 チャンネルトンネルレールリンク路線図

建設は、既に Section 1 プロジェクトとしてフォークストンとテムズ川南の間が着手されていて、順調に建設が進んでいる。2001年着工したのが Section 2 プロジェクトで、テムズ川横断トンネルを含むセントパンクラス駅までの工事である。この区間の工事は1997年に入札が行われたが、工事費などの関係で一度キャンセルされた経緯がある。

本稿は、Section 2 に含まれる全長19kmのロンドントンネルのうち、ストラットフォード駅からセントパンクラス駅手前1.6kmまでの7.5kmのトンネル建設計画について紹介する(図-1,2参照)。

2. 工 事 概 要

工事位置はロンドン北部から東部にかけての市街地に位置する。シールド発進位置は東部のストラットフォードの鉄道操車場跡地であり、全長7.5kmのうち約6.5kmの区間が鉄道地上線の下部に計画されている。また、鉄

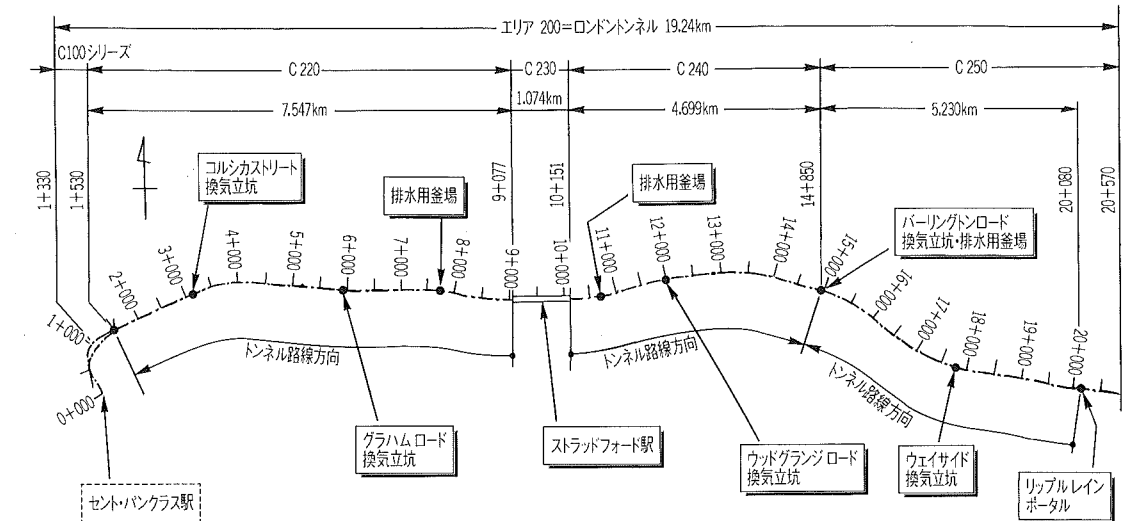


図-2 ロンドントンネル工事図

* 西松建設(株)ロンドントンネル出張所所長
** " " " 副所長

*** 西松建設(株)ロンドントンネル出張所係長

道地上線以外の主要な近接構造物としては、30か所の橋梁、4本の地下鉄および4本の下水管がある。

工事概要は以下のとおりである。

2-1 概要

企業者：Union Railways(North) Ltd.

資金源：政府拠出金および民間基金

工事名：Channel Tunnel Rail Link Section 2:

Contract 220

入札日：2000年8月22日

工期：2001年2月16日～2005年3月25日

2-2 主要工種

トンネル平面図、縦断面図および標準断面図を図-3～5に示す。

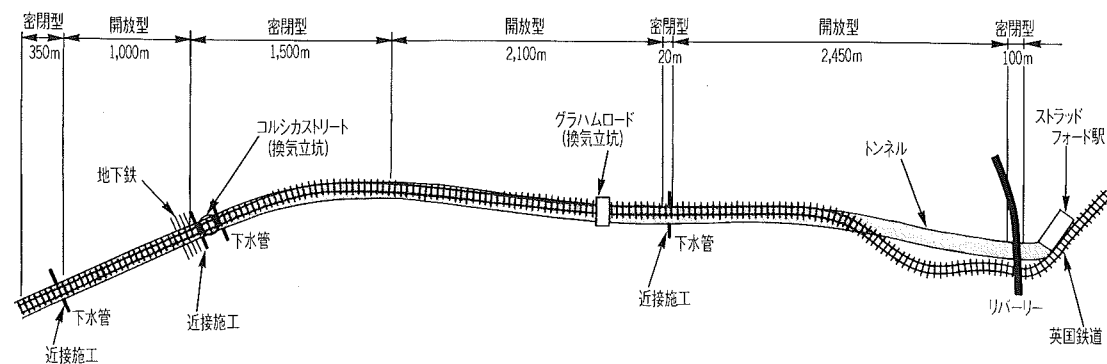


図-3 トンネル平面図

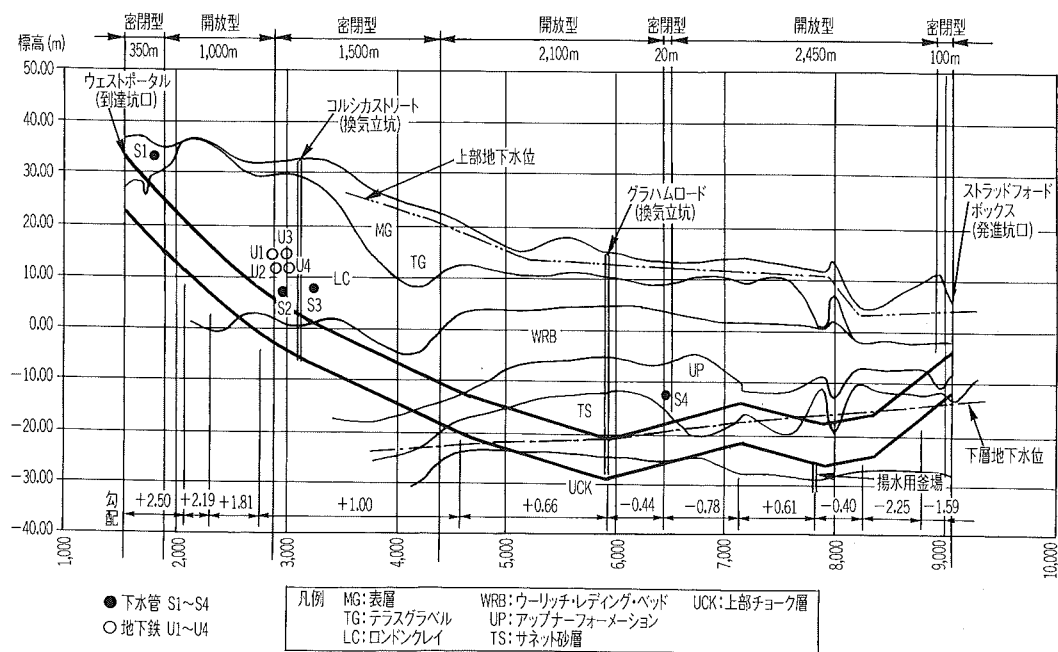


図-4 トンネル縦断面図

なお、発進(写真-1)および到達立坑築造工は別工区の工事である。

トンネル延長：上り線 7,539m 下り線 7,547m

換気立坑：2か所(写真-2)

排水用釜場：1か所

連絡横坑：11か所

地下水位低下工：一式

インバート工：一式

設備工：一式(消火用配管、ケーブルブラケット、排水工)

2-3 契約形態

本工事の契約形態は、Target Contract with Activity Schedule と呼ばれるもので、通常の工事で採用さ

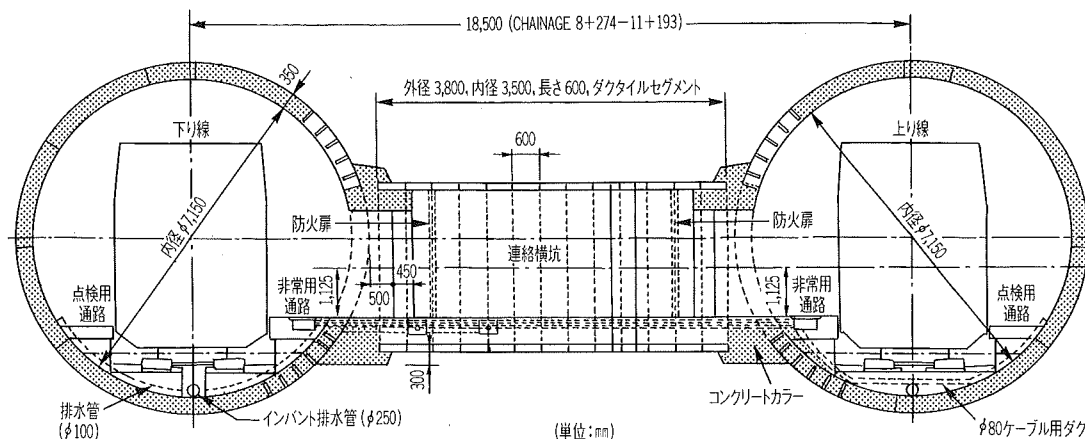


図-5 トンネル標準断面図



写真-1 発進立坑工事(230工区)



写真-2 コルカストリート換気立坑・基地造成

ることが多い Lump Sum 契約や数量精算契約とは異なり、Cost+Fee を基本としている。この形態はプロジェクト費用を最小とすることを目的に導入されたものであり、企業者、設計者および施工者がパートナーシップを結び信頼関係を築くこと(パートナーリング)により目標を達成することを基本理念としている。

契約の基本的な概念は次のとおりである。

- ① 請負者は Target となる工事費+Fee(固定比率)を入札時に提示する。
② 入札時工事費は各工種ごとに労務・材料・機械費

表-1 差額の処理 (%)

Table with 4 columns: Actual/Target x 100(%), 利益の配分 (90<, 90<= <100), 損失の負担 (100< <=120, >120), and rows for Enterprise and Contractor.

などについての内訳(数量×単価)を詳細に提示したもので、この内訳が Activity Schedule となる。

- ③ Feeの内訳は本支店経費、利益、一部の保険料、リスク費用などである。
④ 工事代金は Cost(工事实費)+Fee で支払われる。
⑤ 工事实費は、企業先が認めた工事に要した費用で、入札時の工事費とは異なる。
⑥ Fee は工事实費×固定比率で算出される。
⑦ 工事实費+Fee と入札時工事費+Fee の差額は、プラス・マイナス各々について企業先と請負者間の配分または負担比率が表-1 に示すとおり決められている。

表-1の内訳からわかるように、請負者にとってローリスク・ローリターン契約となっている。すなわち、請負者のリスクを低く抑えることで Target を低く抑えることを目指した契約理念である。

2-4 設計

当工事の設計は基本的に Rail Link Engineering が行う。

ただし、次に示す項目の設計は、請負者が行うことになる。

- ① 換気立坑の一部(連続地中壁および NATM)
② 連絡横坑の一部(本坑と排水管の取り付け)
③ 近接防護工
④ TBMを含む機械設備
⑤ 仮設

3. 地質概要

3-1 地層構成

テムズ川北側の地層構成は、図-4に示すように地表から表層、テラスグラベル、ロンドンクレイ、ウーリッチ・レディング・ベッド(WRB)、アップナー・フォーメーション、サネットサンド、上部チョークの各層からなる。

3-2 各層の特徴

トンネルの土かぶり、平均23mで、最大37m、最小3m(到達部)である。シールド通過部に現れる主な地層の特徴は次のとおりである。

(1) ロンドンクレイ(London Clay)

全体的にはN値10~50、粘着力40~150kPaの硬質粘土層である。部分的にシルトまたは砂を介在し、この部分では自立性が乏しくなる。また、層厚100~300mmの泥岩層が介在することもある。

(2) ウーリッチ・レディング・ベッド(Woolwich and Reading Beds)

粘土、シルト、砂層の互層からなるきわめて複雑な層序を持つ地層である。

粘土層は平均してN値30以上、粘着力150kPa以上である。砂層にはシルト質砂や粘土質砂の部分も多く、透水係数は1×10⁻³cm/s程度である。

(3) アップナー・フォーメーション(Upnor Formation)

N値40程度、透水係数1×10⁻³~10⁻⁴cm/sのシルト質砂層である。WRBおよびサネットサンド層との境界は明確でない。

(4) サネットサンド(Thanet Sand)

N値平均180以上、透水係数1×10⁻³~10⁻⁴cm/sのシルト質砂層である。粒径0.2~0.3mmの細砂が主体で、均等係数は2~3である。ドッグランド付近のサネットサンドと比べるとシルト、粘土の含有率が高い。

この層の底部にはブルヘッド・ベッド(Bullhead Beds)と呼ばれる礫層が出現することもある。名称のとおり、牛頭大の巨礫が存在する。

(5) 上部チョーク

白または薄灰色の石灰質の堆積層である。フリント(Flints:火打石)と呼ばれる非常に硬いガラス質の礫層を介在し、ビットの磨耗に影響を与える。また、この層は亀裂の多い層であり、サネットサンド層の地下水圧を支配している。

3-3 地下水位

この地区における地下水位は、ロンドンクレイおよびWRB層を挟んで上部地下水位と下部地下水位が存在す

る。

上部地下水位は表層およびテラスグラベル層にある。水圧は低く、シールドに与える影響は発達および到達部を除いて少ないと予想される。

下部地下水位は、サネットサンド層に存在している。産業革命前からの揚水によりチョーク層まで水位が低下したこともあったが、近年は回復傾向にあるといわれている。3-2(5)で述べたとおり、サネットサンド層の地下水位はチョーク層から揚水することで低下させることが可能とされている。

4. シールド掘進計画

4-1 長距離掘進への対応

220工区のシールドトンネル工事の大きな特徴として、7.5kmに及ぶ長距離掘進が挙げられる。このような長距離掘進へのシールドに対する対応として、装備能力に余裕を持たせること、主要部分の耐久性を高めること、モニタリングおよびメンテナンスに重点を置くことなどとし、下記の対策を講ずることとした。

(1) カッタートルク

カッタートルクTは、通常 $T = \alpha \cdot D^3$ (α :比例定数、D:トンネル外径=8.11m)で評価される。当工事では、低トルク時 $\alpha = 1.09$ 、高トルク時 $\alpha = 2.19$ とし、地盤に対して2割程度の余裕を持った値とした。

装備についても、250kWの電動カッターモータ×6台(=1,500kW)を採用し、高出力とした。

(2) スクリューコンベヤ

ケーシングおよび羽根外周の磨耗を考慮し、耐磨耗鋼板を取り付けた交換可能なカートリッジ型インナーケーシングを装備し、羽根の外周部にも耐磨耗鋼板を取り付け、長寿命化を図った。

また、交換のための遮断ゲートおよびスクリュー引き抜きシリンダを装備し、地山条件に関わらず、何時でも交換可能な構造とした。

また、高速掘進時75~100mm/min(掘削量換算234~322m³/h)でも十分に余裕のある設備とするため、羽根外径 $\phi 1,100$ mm、最高トルク2,500kN・mとし、排土能力1,260m³/hが確保できる装備とした。

(3) シールド推力

2,250kN/本のシールドジャッキを29本装備し、総推力65,250kN(1,260kN/m²)とやや高めな推力とした。

(4) 土砂シールおよびメインベアリング

通常の土砂シールに加えて、縦型土砂シールを装備することにより、シールへ作用する土圧の軽減を図った。さらに、磨耗量に応じてシール当り面の位置を変更できるスライド機構を設けることで耐久性の向上を図った。

また、管理面では、グリッサプリング機構を装備しグリに含まれる成分を分析することで土砂の浸入を判断できるようにした。

(5) カッタービット

カッタービットは、基本的にチョーク層以外は耐磨耗性を重視し、E3種の超硬ビットを採用することにより、長寿命化を図った。フリントを含むチョーク層については耐衝撃性を優先し、E5種への交換とローラカッタを追加装備することで対応することとしている。

また、管理面では、最外周ビットには油圧式磨耗検知ビットを装備し、限界磨耗時期を確認できるようにする。カッター交換回数は、各ビットの摺動距離から各地層で寿命を算出した結果、換気立坑内での交換を含めて5回を予定している。

(6) テールシール

テールシールは、自動給脂装置による連続給脂とした。注入管はテールスキンプレート内に装備した。

4-2 高速施工への対応

(1) デュアルモードの採用

高速施工への対応として、可能な限り開放型で掘進することを計画した。これは、切羽が自立している状態では、開放型での掘進の方がシールドへの負荷を少なくでき、かつ、排土能力を向上できるため、高速掘進が可能となるためである。このような計画をしたのは、土質調査結果および過去の経験から、ロンドンクレイおよびサネットサンドにおいては、切羽の自立が期待できる区間が多く存在していると判断したためである。

このため、図-6に示す開放型機械掘りと泥土圧の機能

を備えたデュアルモード型シールドを採用することにした。開放型で施工する場合は、チャンバ内に土砂受け用ホッパーおよびスクリーを押し出して掘進する。

なお、開放型と密閉型の採用区間については、地盤条件などを検討して図-4に示したように想定した。開放型区間においても、ビットの磨耗対策、ロック防止、排土効率を考慮して、添加材の注入を計画している。

(2) セグメントの高速組み立て

バキューム式エレクタおよびマガジンラック式セグメント供給装置を採用した。1リングあたりの組み立て時間は25分と推定している。

4-3 掘削土搬出

1基の連続ベルトコンベヤで7.5kmの搬出を行う計画とした。仕様は、ベルト幅800mm、メインドライブ800kW、ブーストドライブ150kW×3台で、排土能力800t/hである。ベルトの延長作業は300mごと(ベルト長600m)に、週末などの掘削停止時に行う予定である。

4-4 RCセグメント

セグメントは、外径7,850mm、幅1.5m、高さ0.35m、10分割で計画されていて、図-7に示す継手構造となっている。基本的には軸力が卓越する解析結果となっていて、補強部材はスチールファイバーで設計されている。

さらに、二次覆工を省略しているために火災時の爆裂防止対策としてポリプロピレンファイバーの混入が検討されている。

また、セグメントは、ストラットフォード操車場跡地で、ロンドントンネルの220工区および240工区が共同製作することとしている。最大の特徴は、コスト低減のた

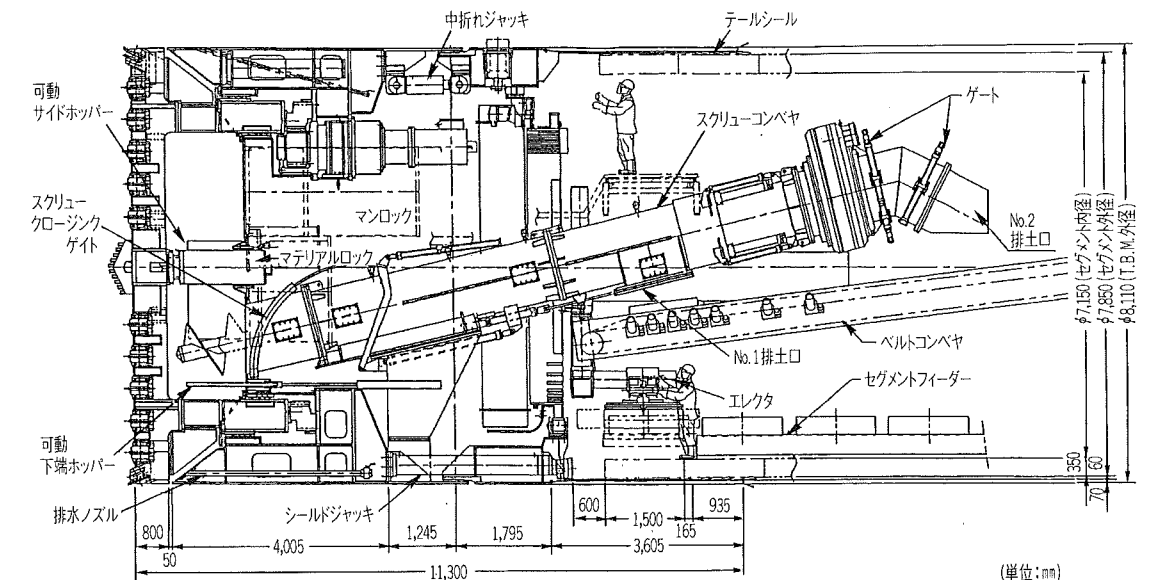
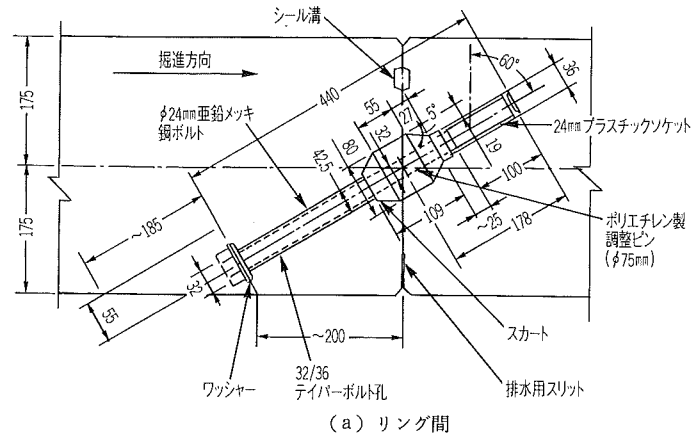
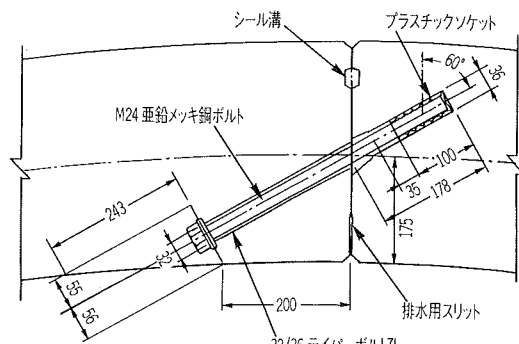


図-6 Dual Mode型シールド



(a) リング間



(b) セグメント間
図-7 セグメント継手構造

め左右のテーパセグメント2種類に製作を限定していることである。このため、直線区間では左右テーパセ

グメントを交互に組み立てることになる。この施工法はシンガポールの地下鉄工事で経験済みのため問題ないと判断している。

5. おわりに

著者らがイギリスで施工するシールド工事に携わるのはこれが3件目になる。これまでの間、さまざまな困難や難問に遭遇したが、これらを現地スタッフと協力して解決するとともに多くのことを学んだ。この工事では、これらの経験を生かし長距離施工を是非成功させたいと考えている。

また、PFI事業におけるパートナーリングを基本とした工事費削減手法についても学び、日本に紹介したいと考えている。

現在(2001.8)は、シールドメーカーが決定し、製作が開始されたところである。シールド発進は2002.6を予定している。施工結果などについては、当誌面を借りて改めて報告できればと考えている。

参考文献

- 1) 杉山正・阿野豊・大橋健司・野本雅昭：ドッグランド・ライト・レールウェイ、ルーシャム延長線トンネル工事、トンネルと地下、Vol.30, No.7, pp.27-35, 1999.7.



景気浮揚は温泉の有効利用で!!

続 きみの庭にも温泉が出る

その後の温泉開発と建設の考え方

石井康夫・侯野恭寛 共著

新書判 219頁 本体価格1,200円 円210円

株式会社 **工木工学社**

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



施工 覆工の薄肉打ち替えによる急速補修

福地ダム～安波ダム間調整水路トンネル

仲里純勇* 安仁屋勉**
金城秀一*** 青木義治****

1. はじめに

沖縄本島では、河川が小規模であるため大容量のダムを多く望めない地形的な環境下にある。このため、ダム群の統合運用により効率的な水資源開発を図る必要がある。その水資源開発の要であるダムは、昭和47年の本土復帰により米軍から建設途中で引き継がれた福地ダムをはじめとして、新川ダム、安波ダム、普久川ダム、辺野喜ダムと順次建設を行い、昭和63年に本島北部の五つのダム群が完成した。これらのダム貯水池を連結する調整水路は、ダムの建設と並行して工事を行い昭和60年に福地ダムから辺野喜ダムまでの全区間が完成した。

現在、調整水路は使用開始からおよそ20年が経過し、経年劣化あるいは外圧によると思われるひび割れなどの変状が発生している。このため、平成3年度から背面空洞充填などの部分的な補修を始めたが、劣化変状している範囲は思いのほか多く、平成9年度に本格的な施設改良事業が採択された。その後、4年間にわたって福地ダム～安波ダム間を中心とした調整水路の補修を行ってきた結果、平成12年度に無事工事を終えることができた。

補修方法の検討に際しては広く識者の意見を求め、既設覆工の残留耐荷能力を極力活用することとして覆工表面をはつた後に内巻きコンクリートを施工する補修方法とし、施工にあたってはコンクリートはつりと薄肉覆工の施工が可能なトンネル急速補修工法を採用した。

本稿は、これまでの調整水路トンネルの調査、補修計画および施工実績などについて報告するものである。

2. 調整水路の概要

当ダム群は、図-1に示すように沖縄本島の北部に位置

*内閣府沖縄総合事務局北部ダム統合管理事務所所長

** " " " " 福地ダム

管理支所長

*** (株)屋部土建調整水路作業所所長

**** 鉄建設(株)エンジニアリング本部技術企画課長

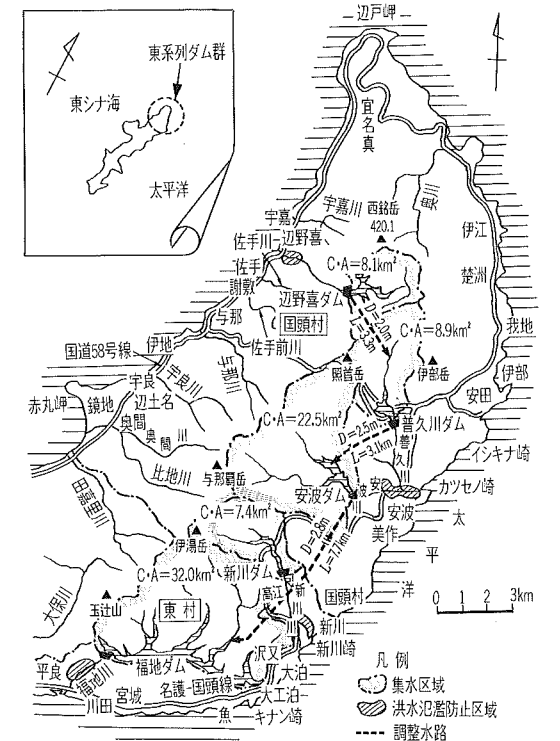


図-1 北部ダム・調整水路位置図

する洪水調節、流水の正常な機能維持、都市用水の開発を目的とした多目的ダム群である。貯水容量の大きい福地ダム、安波ダムを「貯留ダム」、貯水容量の小さい辺野喜ダム、普久川ダム、新川ダムを「取水ダム」と位置付けている。

図-2に示すように、調整水路はこのダム群の貯水池を結ぶ総延長約14.7kmの水路トンネルであり、とくに福地ダム～安波ダム間を連結する調整水路は、貯留ダム間を連結するもっとも重要な区間となっている。この調整水路によって各ダムに貯えられた水を導水し、統合運用することにより水資源の有効活用を図って本島全体の都市用水の約50%相当を供給している。

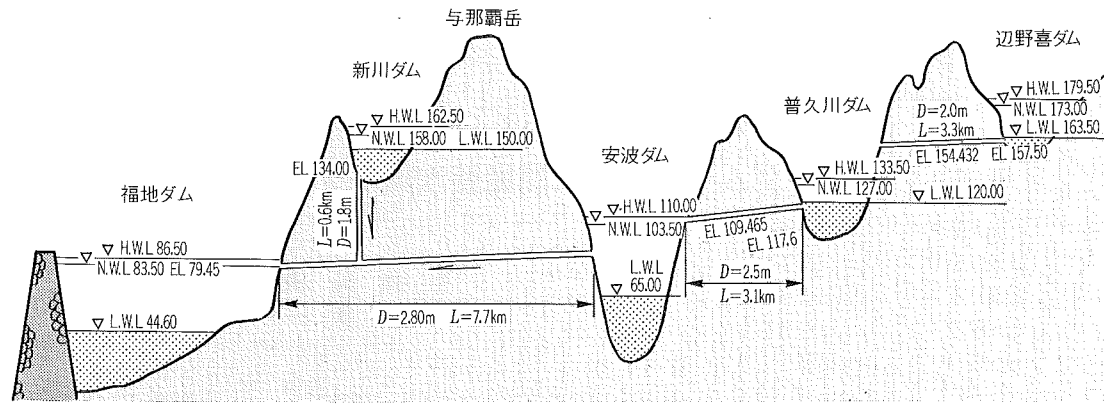


図-2 北部ダム・調整水路縦断面図

3. 実態調査と健全性評価

調整水路トンネルのうち、とくに福地ダム～安波ダム間は劣化などによるひび割れなどの変状が多く現れており補修が必要となっていた。そこで、実態調査により変状箇所を特定してひび割れ状況を観測するとともに、補修対策工の検討に必要な周辺地山、覆工巻き厚、圧縮強度、背面空洞などの物理的データを測定した。その調査結果をもとに、健全性評価を行って早期に対策工を必要とする区間を抽出した。

3-1 地形・地質

沖縄本島は、北東から南西方向に延びる細長い島であり、起伏量の大きい山岳地帯からなる北部と、全体的に平坦な台地や丘陵地からなる中南部に分けられる。当調整水路は北部の国頭山地の東側に位置し、路線上の地形は標高約150～200mの平坦な段丘地形および樹枝状に浸食する小河川からなっている。

地質は、鮮新第三紀の砂岩、粘板岩などが基盤岩として広く分布しており、新生代第四紀のシルト・砂礫などが上層を覆っている(表-1)。

調整水路は、基盤岩となっている砂岩・粘板岩の層に位置し、土かぶりでは大部分の区間が約50m以上であるが呑口・注水口などの一部区間は20m程度となっている。

3-2 変状状況

調整水路の内部調査は、昭和63年にはじめて全線にわたって行われ、とくに構造上の安定性に影響のある縦断方向のひび割れ発生区間については定期的に調査を行っていた。さらに、平成9年度に詳細な調査を行った結果、調整水路内部にはひび割れやその他の変状が多く現れており、その区間は全長7,775mのうち約1,540m(約20%

程度)に達していた。そのうち、縦・横断のひび割れが発生している区間は約930m(約12%程度)となっている。

3-3 健全性評価

本調整水路は、沖縄本島北部の5ダムを連結する重要施設であり維持・管理に万全を期する必要がある。このことから、水路の健全性を損なうことが懸念されるすべての区間を補修対象とすることを基本方針とした。変状箇所の健全性評価については、「道路トンネル維持管理便覧」の評価項目にひび割れの進行性を重要項目として追加し、また、インバート部における覆工厚の基準に対して変更を加えた「調整水路基準」、「水路トンネル診断マニュアル(案)」、「水路トンネルの維持管理支援エキスパートシステム」を用いた。この評価基準にもとづいて、ひび割れ状況、覆工巻き厚、地質、空洞、覆工劣化状況などの調査結果の評価を行い、早期に対策を必要とする最上位ランクの区間を補修対象区間として抽出した。

その区間は、縦・横断クラックが発生している区間のうち、とくに構造上の安定性に影響が大きいと考えられ

表-1 沖縄本島地質層序表

地質時代	地質区分	岩相	備考					
新 生 代	第 四 紀	完新世	沖積層	島尻累帯 岩脈 ↑ 国頭累帯				
		更新世	粟石石灰岩		砂質石灰岩			
	第 三 紀	新 鮮 新 世	琉球国頭石灰岩礫層		石灰岩	シルト, 砂砂礫		
			新里層		砂岩, 泥岩, 凝灰岩互層			
			与那原層		泥岩主体, 砂岩・凝灰岩挟在			
	古 第 三 紀	中 新 世	島尻層群		泥岩・砂質互層, 下部泥岩優勢, 上部砂岩岩優勢			
			漸新世		嘉陽層	砂岩主体, 砂岩泥岩互層からなり, 泥質千枚岩・砂岩泥岩薄互層挟在		
					始新世	名護層	千枚岩, 砂岩・緑色岩	
			古 第 三 紀		早 新 世	名護層	千枚岩, 砂岩・緑色岩	
						名護層	千枚岩, 砂岩・緑色岩	

る縦断クラック発生箇所を主体とする19区間(延長=517m, 水路全長の約7%程度)であり、福地ダム～安波ダム間のほぼ全線に分散している。また、空洞グラウト工やインバートの補修を必要とする区間についても下記のように抽出した。

- ① 内巻きコンクリート工: 延長=517m(19区間)
- ② 空洞グラウト工: 延長=585m
- ③ インバート打ち替え工: 延長=133m(5区間)
- ④ インバート補修工: 延長=80m(7区間)

4. 対策工の設計

4-1 変状要因の考察

水路内のひび割れ変状箇所におけるボーリング調査結果では、そのほとんどから断層破砕帯または劣化して緩んだ不良地質が確認されている(図-3参照)。

また、基盤となっている地層には褶曲などの構造運動を受けたときに形成されるような様々な規模の破砕帯あるいは破砕帯が多く存在していることが建設当時の記録からも確認された。このため、破砕帯沿いの緩み地圧や偏土圧が、ひび割れ発生などの変状要因になっているものと考察した。

4-2 補修対策工の設計

緩み地圧や偏土圧が変状要因の場合には、グラウト工、ロックアンカー工、内巻き工、打ち替え工などの対策工

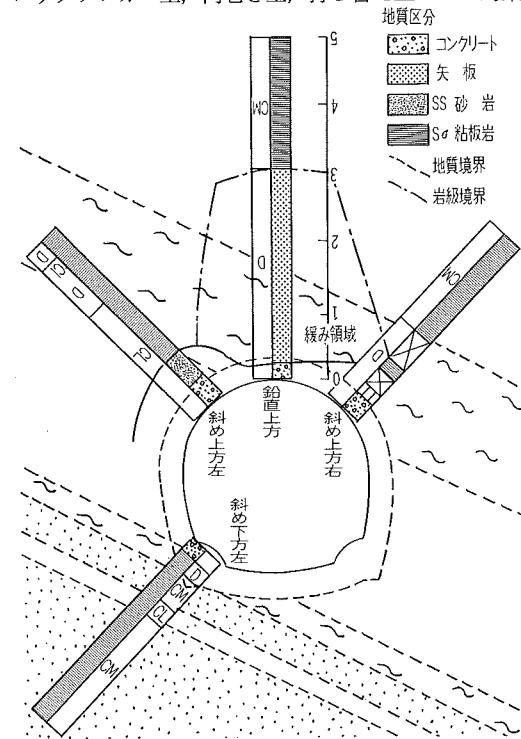


図-3 ボーリング調査地質断面図

が適用されるが、支保能力、地山安定性、内空断面確保などについて総合的な評価を行い適正な対策工を選定して設計する必要がある。対策工の設計にあたっては既設覆工の残留耐荷能力を極力活用することとし、図-4に示す対策工設計フローに従い検討を行った。

第1ステップとして水路トンネルの基本的な機能である流下能力について検討を行った結果、コンクリートによる巻き立ての場合で断面的な余裕が2～4cmしかないことから現状の内空断面確保を基本とすることとした。

第2ステップとしては、現状の再現、空洞充填後、表面はつり後、新設覆工内巻き後、の4段階の応力解析により覆工の安定性を検討して補修設計と設計結果の検証を行った。解析手法は一般的な二次元線形弾性モデルを用いたFEMによる応力解析とした。覆工背面に空洞があり天端部に縦断方向のひび割れが発生している代表的な断面における安定解析結果を図-5に示す。各段階の検証結果は下記のとおりである。

(1) 現状の再現

ひび割れ変状状況から外力を推定し、現状のひび割れ発生位置に基準強度以上の引張応力が発生する外力の作用状況を解析により再現した。その結果、側壁部の地山反力がとれない場合に天端部で最大1.08N/mm²の引張応力の発生が検証できた。

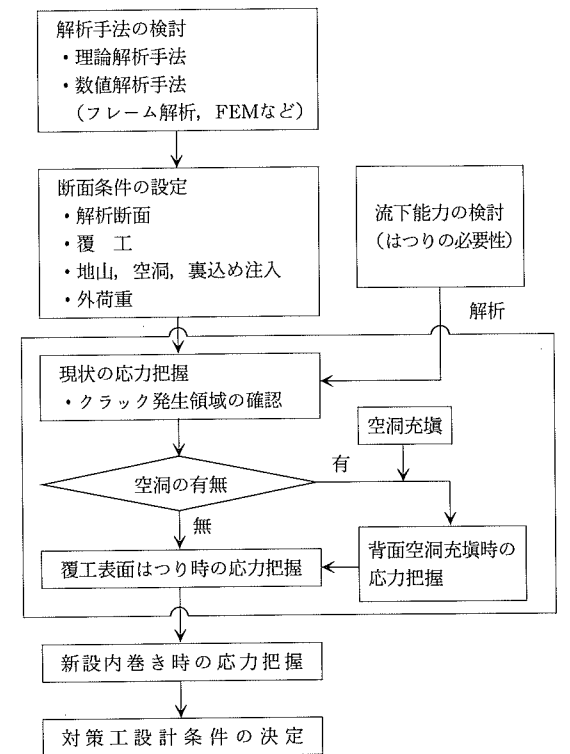
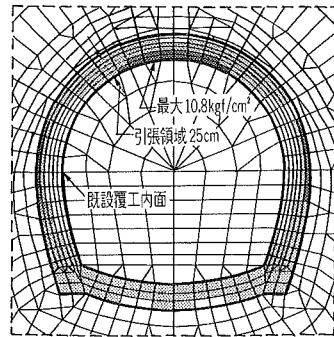
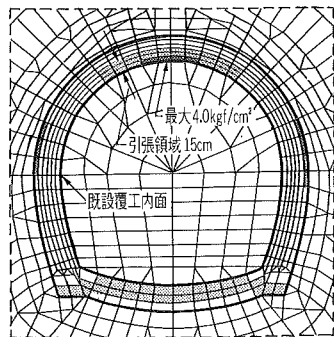


図-4 対策工検討設計フロー

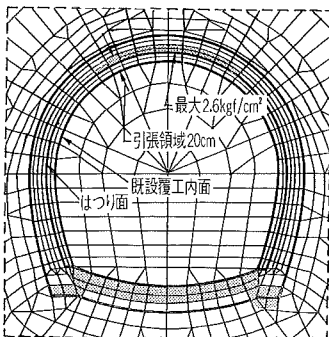
(1) 現況の再現



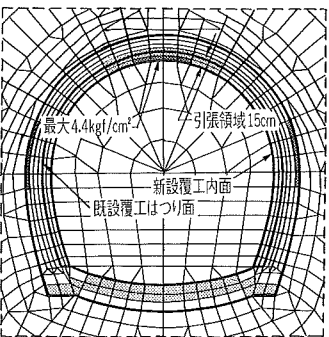
(2) 地山改良後



(3) 表面はつり後



(4) 新設覆工内巻き後



引張応力発生領域 許容応力以上の引張応力発生領域

図-5 安定解析結果

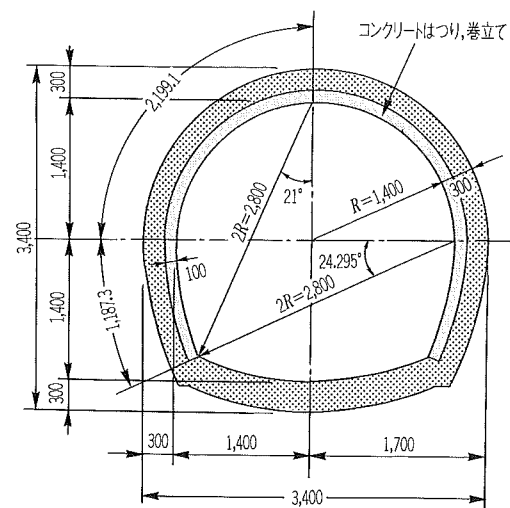


図-6 補修設計標準断面

(2) 空洞充填後

空洞充填により側壁部の地山反力を確保した場合の天端部の引張応力は 0.4N/mm² に低下した。しかし、これ

でも無筋コンクリートの許容引張応力の 0.3N/mm² を越えるため、引張応力の発生している覆工表面10cmの範囲を切削した後に巻き厚 10cm の鉄筋コンクリートを内巻きする対策を検討する。

(3) 表面はつり後 施工段階で覆工表面を 10cm 切削した場合の応力解析結果によると、覆工内面の最大引張応力は、許容引張応力以下の 0.26N/mm² であった。

5-2 工法概要

補修工法の施工概要は、図-7 に示すように、コンクリートはつりロボットにより覆工表面の劣化部分を切削して除去した後、コンクリート打設装置により急硬性高流動コンクリートを製造してセントル型枠内に打設し、短時間で既設コンクリートに密着した薄肉で高品質の覆工コンクリートを形成する工法である。

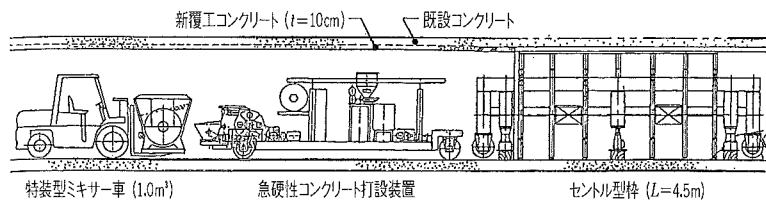
(4) 新設覆工内巻き後 覆工表面を10cm 切削した後、巻き厚 10cm のコンクリートを内巻きした場合の最大引張応力の発生状況を検証した。その結果、天端部においては新設覆工内巻き後も許容の 0.3N/mm² を越える 0.44 N/mm² の引張応力の発生が確認されるため、最終的には鉄筋コンクリート構造とする補修設計とした。図-6 に補修の設計標準断面を示す。

5. 施工法の検討

5-1 工法選定

本調整水路は沖縄本島全体の重要な水供給施設となっているため、通水停止期間(工事期間)は極力短くする必要がある。

覆工施工部(急速覆工工法)



はつり施工部(はつりロボット)

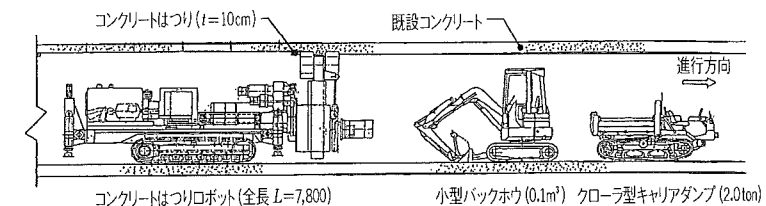


図-7 トンネル急速補修工法施工概要図

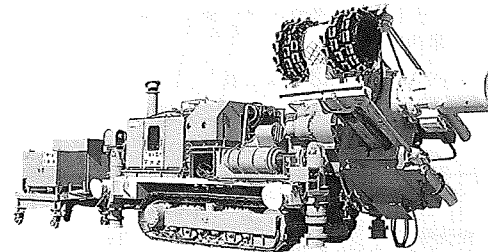


写真-1 コンクリートはつりロボット全景

表-2 コンクリートはつりロボット仕様

種別	項目	仕様
本体部	適用断面	半径1,250~2,400mmの馬蹄・橢圓断面
	機体寸法	全長6,900mm,全幅2,300mm,全高2,300mm
	走行機構	クローラ式(高速:20m/min,低速:10m/min)
	位置決め機構	レーザービームのターゲット位置入力による位置決め
切削部	全体重量	約20t
	カッタ形式	横軸ツインカッタ(カッタヘッド径700mm,幅350mm×2)
	カッタドラム支持旋回機構	伸縮アーム支持による旋回機構
	切削速度	50~150cm/min
	精度	±20mm以内
粉塵	2mg/m³以下	

5-2-1 コンクリートはつりロボット

コンクリートはつりロボットは、ツインカッタ方式のコンクリート面切削ロボットであり、自動切削制御機能

によってはつり作業の自動化を図り施工の高精度化、迅速化を可能としている。

また、施工断面を随時CPUに入力することにより種々のトンネル断面や切削厚の変化に対応することが可能である。コンクリートはつりロボットの外観を写真-1に、仕様を表-2に示す。

5-2-2 急硬性高流動コンクリート

(1) コンクリート性状

セントル型枠内に打設して薄肉で高品質の覆工コンクリートを短時間で形成する急硬性高流動

コンクリートは、次のような性状を有している。

- ① 流動性：スランプ24cm以上
- ② 流動性保持時間：60分前後
- ③ 初期(自立)強度： $\sigma_{2h} = 0.5N/mm^2$ 以上
- ④ 圧縮強度： $\sigma_{28} = 30.0N/mm^2$ 以上

(2) 急硬材

急硬性高流動コンクリートは、高流動のベースコンクリートに急硬材を添加・混合して製作する。その急硬材は急結材と遅延剤とからなり、各々の添加量を調節することによって所定の流動性保持時間と初期強度の発現を確保している。

急結材および遅延剤は、双方とも粉末状であり水で練り混ぜてスラリー状にして使用する。急硬材の物性および諸性能を表-3、4および図-8に示す。

表-3 急結材の物性

形態	比重		使用量(対セメント%)		主成分
	かさ	真	標準	範囲	
粉末	1.0	2.9	13~17	10~20	急硬性セメント鉱物

表-4 急結材添加率と強度発現

温度(°C)	添加率(C%)	硬化時間(分)	圧縮強度(N/mm²)			
			3時間	1日	7日	28日
10	10	68	0.3	3.3	21.3	31.2
	15	60	0.4	4.1	21.6	30.4
20	10	45	1.9	8.8	30.6	33.7
	15	41	2.1	10.3	30.9	33.0
30	10	20	2.3	13.1	34.2	34.6
	15	18	2.5	13.9	34.8	35.3

(※遅延剤：急結剤×5%)

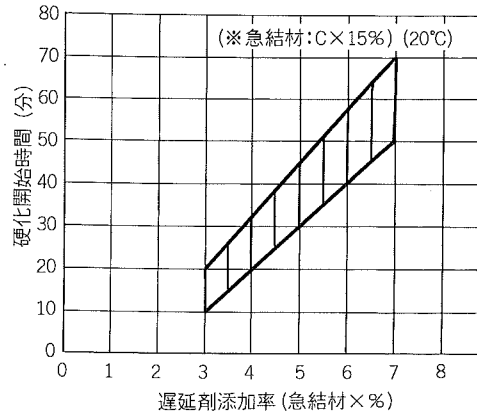


図-8 遅延剤添加率と硬化開始時間

(3) 標準配合

急硬性高流動コンクリートの標準配合を表-5に示す。

5-2-3 コンクリート打設装置

急硬性高流動コンクリートを製造して打設する装置である。プラントで練り混ぜた高流動コンクリートをコンクリートポンプで圧送すると同時に、急結材と遅延剤を適正比率で水に練り混ぜてスラリー状にした急硬材を急

硬材供給ポンプで圧送し、打設口手前で混合装置により高流動コンクリートと適量の急硬材を攪拌混合して型枠内に打設する。図-9に急硬性高流動コンクリートの製造・打設系統図を示す。

5-2-4 セントル型枠装置

セントル型枠は、補修工事の種々の施工条件に対応するため下記の機能を装備して機動性・作業性などの向上に配慮がなされている。図-10にセントル型枠装置の全体図を示す。

- ① 打設口をラップ側の側壁部、アーチ肩部および天端部の1間ごとに設けて充填性を向上
- ② 混合装置を各打設口に接近して設置し作業性を向上
- ③ 操舵付きホイール走行装置を装備して機動性を向上

6. 施工実績

調整水路トンネル補修工事の施工実績を以下に示す。

6-1 工事内容

工事件名：調整水路補修工事
工事期間：平成10年度～平成12年度

表-5 急硬性高流動コンクリート標準配合

配合種類	最大骨材寸法 (mm)	スランブ範囲 (cm)	水セメント比 W/C (%)	細骨材率 S/A (%)	単位配合 (kg/m³)							
					水 W (kg)	セメント C (kg)	細骨材 S (kg)	粗骨材 G (kg)	混和材料			
									フライアッシュ	流動化剤	急結材	遅延剤
TSL-C	15	22±2	57	70	217	380	1186	513	20	C×0.5%	C×13%	急×7.0%

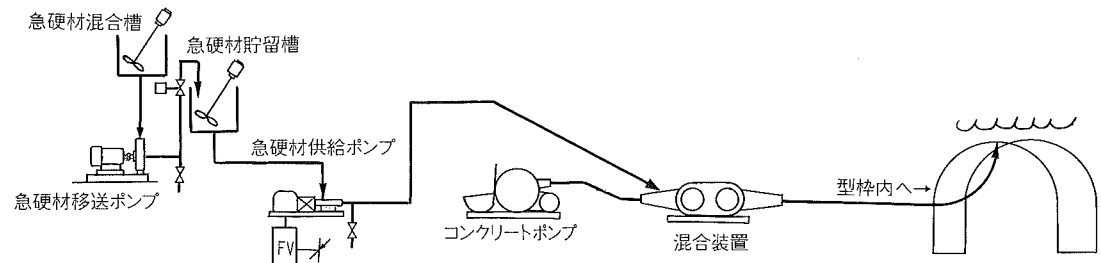


図-9 急硬性高流動コンクリート製造・打設系統図

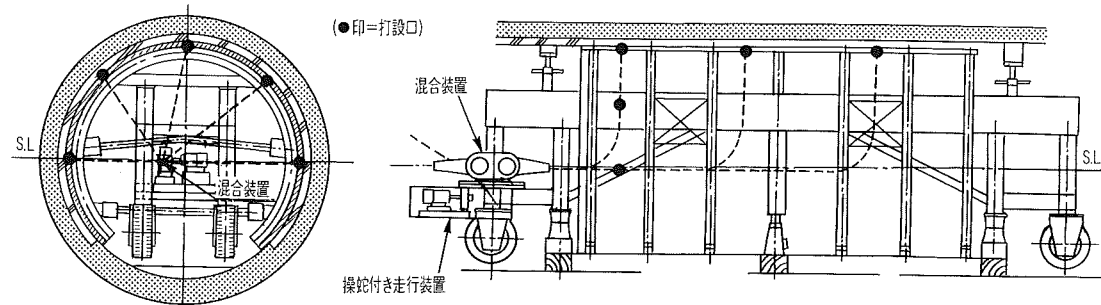


図-10 セントル型枠装置

工事範囲：福地ダム～安波ダム間(L=7,775m)

工事数量：内巻きコンクリート工 L=517m(19か所)

インバート打ち替え工 L=133m(5か所)

インバート補修工 L= 80m(7か所)

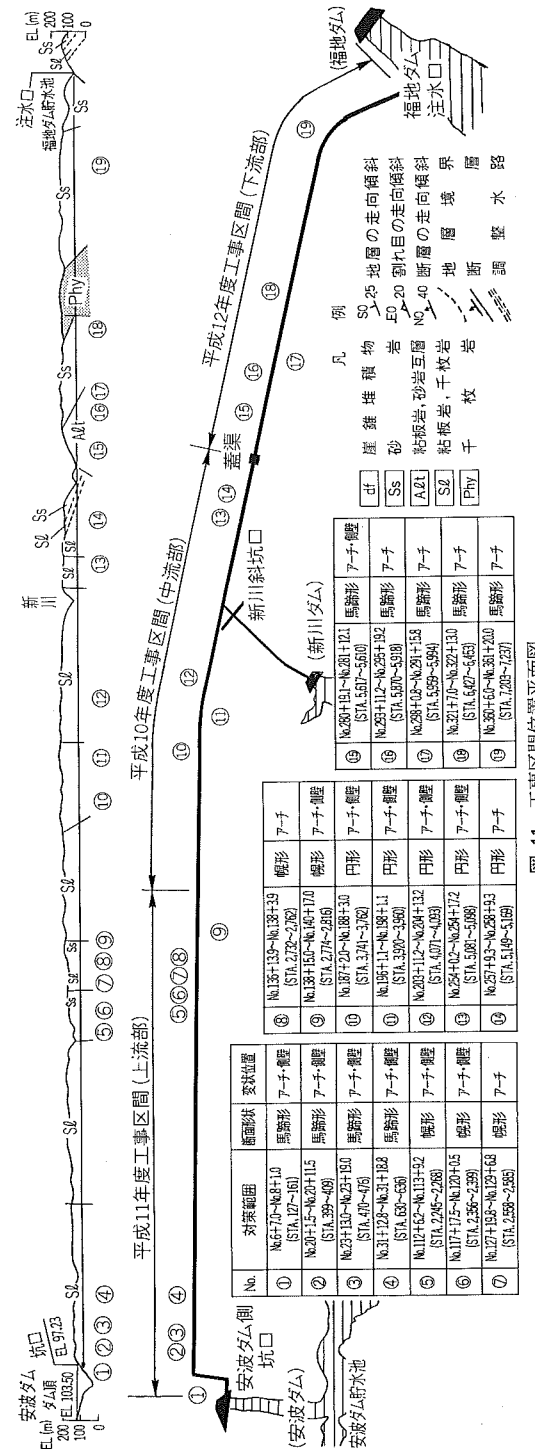


図-11 工事区間位置平面図

空洞グラウト工 L=585m

6-2 施工概要

補修工事は、図-11に示すように平成10年度は中流部分、平成11年度は上流部分、平成12年度は下流部分の3区間に分けて実施した。工事は、調整水路の送水を停止して行う必要があるが、工事期間中においても極力ダム群の効率的な運用に努める必要があるため、約2か月に1回程度工事を中断して送水を行いダム群の統合運用を図った。工事期間中の送水については、坑内の施工機械を一時坑外に待避させて約2週間ほど通水してから再度送水を停止して工事を再開する工程をくり返し実施した。施工機械の坑内搬入は、調整水路のほぼ中間付近の新川斜坑からすべて自走させて搬入したが、仮設備の配置および資材の搬入については各年度の工事範囲を考慮してその都度計画した。

平成10年度は、新川斜坑口を工事基地として坑口前の用地に仮設備を設置し、資材は斜坑から搬入した。また、斜坑交点の上・下流の本坑約2,600m区間は円形断面であるため、車両通行用の仮設通路をコンクリートで事前に設置した。

平成11年度は、前年度と同様に新川斜坑口を工事基地としたが、安波ダム側の補修区間は新川斜坑口から約4,000m以上と遠くなることから、コンクリートの運搬については安波ダム側坑口からシュートを坑内の運搬車に投入して搬入した。

平成12年度は、新川斜坑と福地ダム注水口のほぼ中間付近の蓋渠を工事基地として施工を行った。蓋渠は谷間の沢部に位置し、周囲の用地が狭いことからコンクリートプラントのみを新川斜坑口の用地に設置してミキサー車により蓋渠まで運搬した後、坑内の運搬車に投入して搬入した。

また、福地ダム注水口は米軍基地内に位置していることから工事のための立入許可を得るとともに、福地ダムの常時満水位が調整水路トンネルの天端より上であることから注水路に角落し止水壁を二重に設置し、坑内の滞留水を水中ポンプにより福地ダム貯水池内に排水して施工を行った。

6-3 内巻きコンクリート工

内巻きコンクリート工の施工はトンネル急速補修工法を採用して行った。コンクリートはつりロボットにより覆工表面の劣化部分をはつき取り、補強鉄筋を組み立てた後、急速覆工工法(TSL工法)により急硬性高流動コンクリートを打設して短時間で内巻きコンクリートを施工する工法である(写真-2,3)。

はつきり工法については、切削およびずり搬出の実作業能力は6.0m/日であるが、約2か月に1回の通水のため

の工事中断により施工機械の搬出・入に各々3~4日程度を要することや、既設覆工内の補強支保工の出現により手動切削操作が増すなどのため、全体工程としては4.5m/日程度の施工能力となった。

急速覆工工法については、型枠長4.50mのセントル

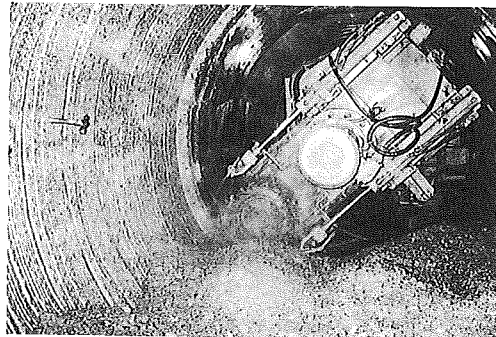


写真-2 切削状況

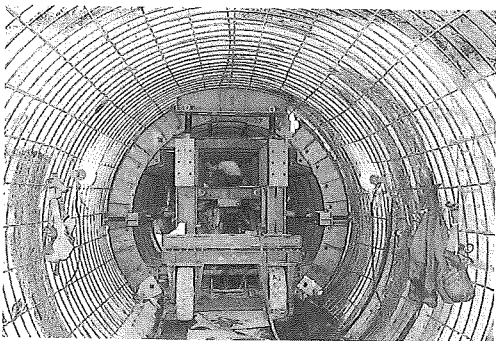


写真-3 覆工状況

表-6 施工実績

項目	はつり工	内巻きコンクリート工
施工サイクル	移動・セット	10min
	コンクリート切削	20min
	ずり搬出	80min
	1サイクル計	110min
所要時間	2時間/1サイクル	6時間/1サイクル
	1サイクル長	1.2m/1サイクル
施工能力	6.0m/日 (1.2m×5サイクル/日)	6.75m/日 (4.5m×3サイクル/2日)
	流動保持時間	60min
自立強度	$\sigma_{2h} = 0.6N/mm^2$	
圧縮強度	$\sigma_{7day} = 33.7N/mm^2, \sigma_{28day} = 42.1N/mm^2$	

表-7 ドライモルタルの標準配合

W/C (%)	フロー値 (mm)	添加水量 (kg)	ドライモルタル (kg)			練り上り量 (ℓ)
			普通セメント	特殊添加物	天然砂	
42.7	180±20	4.0	9.36	0.64	10.0	10.99

型枠を用いて施工位置が坑口から1,000m程度の距離であれば6時間/1打設の施工サイクルであり3サイクル/2日の施工能力となるが、2,000m以上の距離になると8時間/1打設の施工サイクルとなり1サイクル/1日の施工能力となる。

このように、施工能力はコンクリートの運搬距離により左右されるため、平成10年度は1.0m³の運搬車を使用していたが、平成11年度からは2.0m³の運搬車を開発して施工能力の向上を図った。また、1サイクル/1日の施工能力の場合はコンクリート養生サイクルを夜間に合わせれば早強コンクリートでも施工可能である。しかし、各ダムの貯水能力は天候などに左右され、万一の場合の通水時期くり上げに対処できるように急硬性コンクリートを使用することとした。ハンドリングタイムの調節はコンクリート打ち継ぎ目のコールドジョイント防止を目的としており、運搬距離によって1~2時間の範囲で調節した。内巻きコンクリートの圧縮強度については、設計の30.0N/mm²以上に対して平均42.1N/mm²の強度発現であることを確認した。

表-6に運搬距離1,000mの場合のはつり工と内巻きコンクリート工の施工実績を示す。

6-4 空洞グラウト工

空洞グラウト工は、既設覆工巻き厚不足箇所の補強、地山荷重の均等配分、既設覆工切削時の安全確保が目的である。注入材料は、ドライモルタルを使用した。施工は、小型ロータリーボーリングマシンによりφ50mmの注入孔を穿孔し、ミキシングポンプによりドライモルタルを混練りして注入を行った。注入管理は、最高0.2N/mm²の圧力管理とした。離隔する施工箇所間の移動に対しては、これらの施工機械や資材をキャリアダンプ(2.0ton)に積み込み、キャラバン方式として機動性の向上を図った。

ドライモルタルの標準配合および強度発現は表-7,8のとおりである。

表-7,8のとおりである。

6-5 インバート打ち替え工および補修工

インバート打ち替え工は、既設インバートの解体・新設であり、補修工は、表面の切削・内巻きである。したがって、打ち替え工ではミニバックホウ(0.1m³)に小型の油圧ブレーカを装備して解体を行い、補修工ではコンク

表-8 ドライモルタルの強度発現

圧縮強度(kgf/cm ²)	3日			7日			28日		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3
	300	440	550						

リートはつりロボットおよび人力補助により切削を行った。また、コンクリートずりは、ミニバックホウでキャリアダンプ(2.0ton)に積み込み坑外に搬出し、コンクリート運搬車により生コンクリートを坑内に搬入して打設した。

7. おわりに

調整水路補修工事の施工に際しては、高効率のコンクリートはつりと薄肉覆工の急速施工が可能なトンネル急速補修工法を採用したことで、工事途中に通水による中断をくり返すという工程的なハンデを克服し、施工能力や出来形品質および経済性の面において良好な成果を得て無事工事を終えることができた(写真-4)。しかし、社会基盤の整備によって生活環境が充実していくなかでこのようなトンネル構造物は着実に増加しており、一方では長い年月の供用により老朽化して補修を必要とするものがますます多くなることが考えられる。今後、



写真-4 補修完了

このような水路トンネル補修工事の検討に際して一助となればと考え、本稿をまとめた次第である。

最後に、本調整水路補修工事の施工検討および工事に従事された多くの関係者ならびにご協力を頂いた皆様に厚く感謝を申し上げる次第である。

「トンネルと地下」バックナンバー在庫状況

(2002年4月1日現在)

	第1	第2	第3	第4	第5	第6	第7	第8	第9	第10	第11	第12	第13	第14	第15	第16	第17	第18	第19	第20	第21	第22	第23	第24	第25	第26	第27	第28	第29	第30
1月号	△	○	△	△	△	△	△	△	○	△	△	○	△	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
2月号	△	○	○	○	△	○	△	△	○	△	○	△	○	△	○	△	○	△	○	△	○	△	○	△	○	△	○	△	○	△
3月号	△	△	○	○	△	△	○	△	△	○	△	△	○	△	△	○	△	△	○	△	△	○	△	△	○	△	△	○	△	△
4月号	△	△	△	○	○	△	○	△	△	○	△	△	○	△	△	○	△	△	○	△	△	○	△	△	○	△	△	○	△	△
5月号	△	△	○	○	△	△	○	△	△	○	△	△	○	△	△	○	△	△	○	△	△	○	△	△	○	△	△	○	△	△
6月号	△	○	○	○	○	△	○	△	△	○	△	△	○	△	△	○	△	△	○	△	△	○	△	△	○	△	△	○	△	△
7月号	△	○	○	○	△	△	○	△	△	○	△	△	○	△	△	○	△	△	○	△	△	○	△	△	○	△	△	○	△	△
8月号	△	○	○	○	△	△	○	△	△	○	△	△	○	△	△	○	△	△	○	△	△	○	△	△	○	△	△	○	△	△
9月号	△	○	△	○	△	△	○	△	△	○	△	△	○	△	△	○	△	△	○	△	△	○	△	△	○	△	△	○	△	△
10月号	△	○	△	○	△	△	○	△	△	○	△	△	○	△	△	○	△	△	○	△	△	○	△	△	○	△	△	○	△	△
11月号	△	○	△	○	△	△	○	△	△	○	△	△	○	△	△	○	△	△	○	△	△	○	△	△	○	△	△	○	△	△
12月号	△	○	△	○	△	△	○	△	△	○	△	△	○	△	△	○	△	△	○	△	△	○	△	△	○	△	△	○	△	△

注) ○印:在庫あり、△印:在庫なしですが、コピーは可能です(実費+送料+消費税)。

なお、本誌の創刊号から300号までの総目次が下記の2冊に掲載されております。

・1987年(第18巻)4月号:創刊号(1970年9月)~200号(1987年4月)

・1995年(第26巻)8月号:201号(1987年5月)~300号(1995年8月)

・なお、毎年1年間の総目次は、その年の12月号に掲載されております。

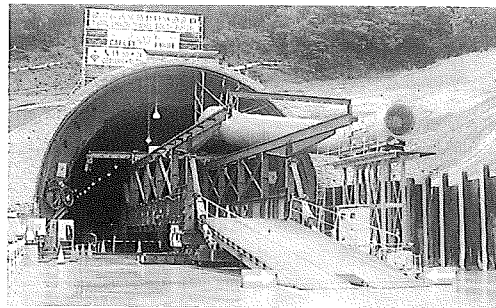
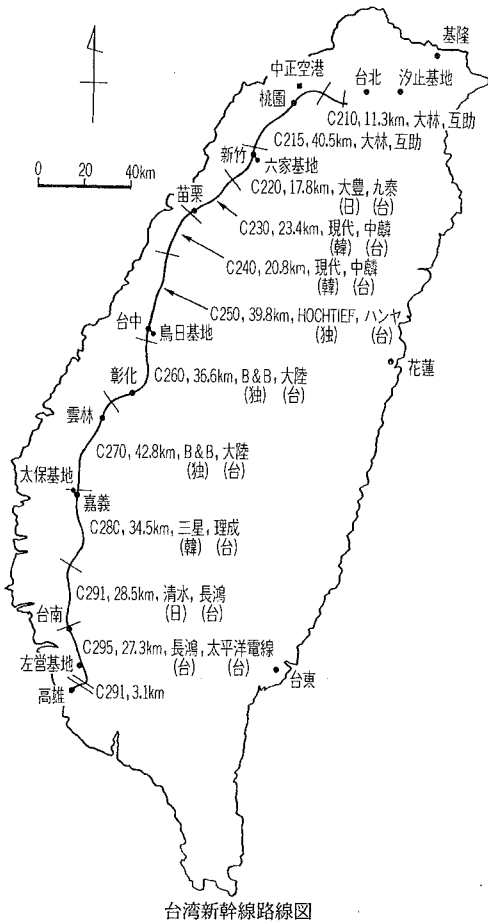


「蝶も通う近さでの海外工事」台湾桃園県より

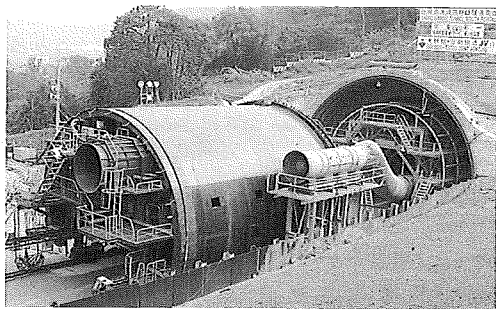
山道 哲二

先日、1月11日付けの西日本新聞記事をインターネットで見たら、アサギマダラチョウのことが書いてあった。昨年10月15日に長崎県で捕獲され、印をつけて放された蝶のアサギマダラが台湾北部の陽明山国家公園で見つかったというもので、43日間で1,280kmを飛行したことになる。

さて、蝶も通う近さの台湾で一昨年の4月から台湾新幹線の土木工事のうち、大林組は地元の互助營造とのJVでもっとも台北寄りのC210, C215 工区を担当している。土木工事全線326kmのうち約52kmで、トンネルは最長6.4kmの林口トンネルをはじめ、6か所、



林口トンネル南坑口インバート栈橋



林口トンネル南坑口セントル

延べ14.7kmになる。今回の工事範囲である台湾西側山地の地質は第三紀鮮新世から中新世にかけての堆積物で、平野部は第四紀層の砂礫層で構成されている。切羽に湧水を伴う砂層が出現すると自立性に乏しいため各現場では苦労している。当初、トンネル支保パターンを決めるファクターとして当地の設計者は玉石の含有率を最重要視していたことが理解できなかったが、最近その意味がわかったような気がする。

当地には鉄道、ダムをはじめ、日本の土木技術者による社会資本が数多く残っている。とくに台南県の烏山頭ダムを水源として、広大な農田地帯にくもの巣を張り巡らせたような灌漑水路を調査・設計・施工した八田与一技師はその功績を称えられ、70年を過ぎた今でも尊敬の念をこめて“ダムの父”と呼ばれている。われわれも諸先輩の功績に恥じることなく将来“新幹線のトンネルを掘った男たち”として崇められるよう2004年の完成を目指して努力している。
(大林組・互助營造共同企業体 C210 工区副所長)



シールド機挙動のシミュレーションに関する研究

研究

杉本 光隆* Aphichat Sramoon**
小西 真治*** 佐藤 豊****

1. はじめに

シールドトンネルの建設では、自動掘進システムが開発され、シールド機の挙動や制御に関する多くの実測データが得られるようになった。しかし、こうした自動掘進システムは経験則をもとにしているにすぎず、シールド機の挙動を理論的に表現できる力学モデルは未だ確立されていない。このため、①特殊断面シールド機の挙動予測・制御、②複雑な地層構造でのシールド機の制御、③シールド機の装備能力の設計等は、経験や模型実験・実証実験にもとづき行われているのが現状である。さらに、今後は、未知の条件となる大深度での施工や、浅深度でのきわめて正確な近接施工が要求される場合が増えると予想され、経験のみにもとづいた従来のシールド機制御手法から、力学理論にもとづいたシールド機の制御手法への移行が必要であると考えられる。

力学モデルの開発にあたっては、理論的な考察とともに、実測データを用いて理論の合理性を検証することが重要である。

そこで、本研究では、現場の施工実績を考慮に入れて開発された円形単胴型シールド機に作用する荷重モデル

(以後、シールド機力学モデルと呼ぶ)¹⁾²⁾をもとに、現場実測データを用いてシールド機挙動予測を行い、得られた結果を施工実績と比較することにより、シールド機力学モデルの合理性を検討した。

2. 解析方法

2-1 シールド機力学モデルの概要

シールドトンネルに関する施工実績や既往の研究によると、掘進中のシールド機挙動に影響を与える条件は、過去に掘削した空間(以後、掘削領域と呼ぶ)、テールクリアランス、動的な力のつり合い、カットフェイス回転方向、シールド機のスライド、シールド機天端部での緩みなどであると考えられる。そこで、これらの条件を考慮に入れた、シールド機力学モデルを開発した。シールド機力学モデルは、図-1に示すように、シールド機に作用する主要な外力(以後、作用力と呼ぶ) $f_1 \sim f_5$ で構成されている。本モデルを用いれば、地盤物性値の逆解析・シールド機の挙動予測・シールド機の制御を行うことができる。

作用力のうち、スキンプレート作用力 f_5 は、スキンプレートに作用する地盤反力と、それによる摩擦力であ

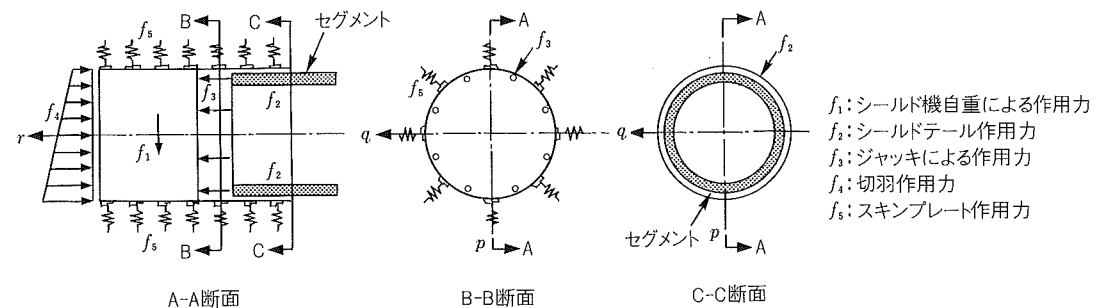


図-1 シールド機力学モデル

*長岡技術科学大学環境建設系教授
** " 建設系助手

***(財)鉄道総合技術研究所構造技術研究部トンネル研究室室長
**** " " トンネル研究室副主任研究員

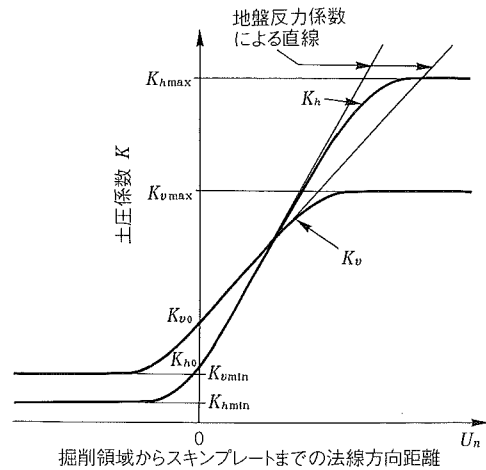


図-2 掘削領域からスキンプレートまでの法線方向距離と土圧係数の関係

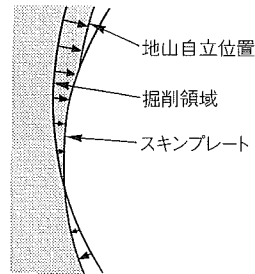


図-3 地盤変位(地山が自立する場合)

る。この地盤反力は、掘削領域からシールド機スキンプレートまでの法線方向距離 U_n に、図-2 に示す U_n と土圧係数 K の関係を適用して求められる。ここで、静止土圧係数は $U_n=0$ における土圧係数 K 、地盤反力係数は $U_n=0$ における曲線の傾きとなる。また、参考までに、シールドセグメントの設計に用いられる地盤反力係数⁹⁾ の考え方をもとに得られる U_n と土圧係数 K との関係を図-2 に示す。

なお、掘削領域表面の地盤変位は、地山が自立しない場合には U_n で、地山が自立する場合には図-3 に示す矢印で表され、いわゆる接触問題となる。

2-2 シールド機挙動予測手法

シールド機挙動は時系列のシールド機位置と回転角で表される。ここでは、ローリング角の変化が小さいことを考慮し、ローリング角の代わりにローリングしないために発揮される周方向動摩擦力の割合(以後、カットトルク抵抗係数と呼ぶ)をパラメータとした。したがって、以下の6つのパラメータを未知数として、

- Δ_x : x 方向の移動距離の増分
- Δ_y : y 方向の移動距離の増分
- Δ_z : z 方向の移動距離の増分

表-1 計測データ入力項目

作用力項目	計測項目
シールドテール作用力	グリース圧
ジャッキによる作用力	ジャッキ圧、追従圧
	稼働状況
切羽作用力	カッタートルク*
	カッターフェイス回転方向
	カッターフェイス回転速度
	掘進速度*
	切羽圧
	チャンパ内泥水密度
スキンプレート作用力	マシン位置*
	マシン回転角*
	ジャッキストローク*
	コピーカット長さ
	コピーカット使用範囲

*: シミュレーションでは、計算結果。

- ϕ_v : ヨーイング角(方位角)
- ϕ_p : ピッチング角(下向き:正)
- α : カッタートルク抵抗係数

式(1)に示す力のつり合い式を解くことにより、掘削中のシールド機挙動を求めることができる。

$$\begin{bmatrix} \sum_{i=1}^5 F_i^M \\ \sum_{i=1}^5 M_i^M \end{bmatrix} = 0 \quad (1)$$

なお、シールド機の挙動予測を行うためには、表-1 に示すシールド機の制御・挙動に関する計測データ、トンネル諸元、地質縦断面図、地盤物性値、シールド機の諸元が必要となる。

3. 現場概要

3-1 現場概要

大津放水路トンネル⁹⁾ 136~163リングを解析対象とした。解析対象区間近傍の路線平面図を図-4 に、解析対象区間のトンネル諸元を表-2 に示す。

3-2 地質概要

解析対象区間近傍の地質縦断面図を図-5 に、地盤物性

表-2 トンネル諸元

線形	平面線形 縦断面線形	左カーブ半径400m 上り 2.49%
セグメント	外径	6.2m
	幅	1.2m

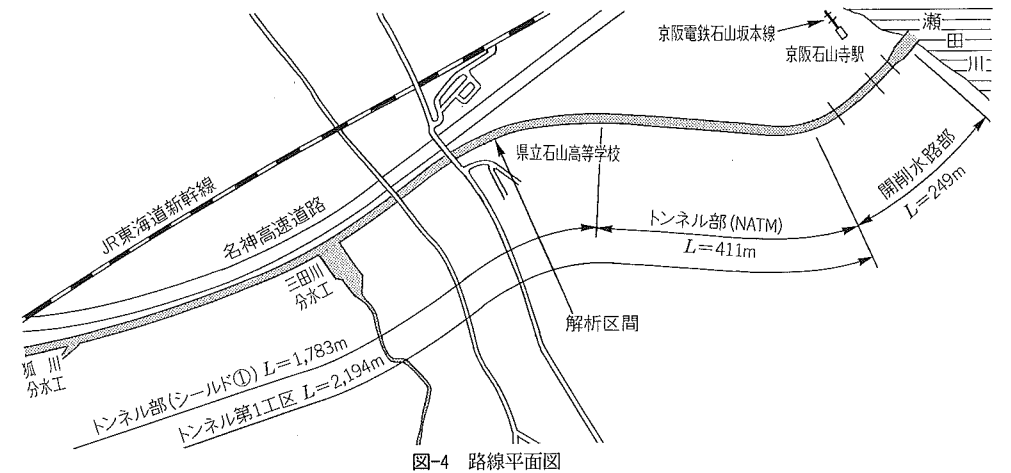


図-4 路線平面図

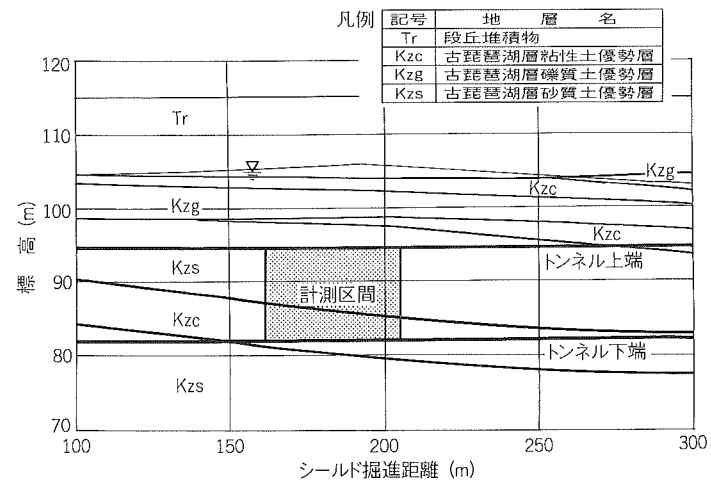


図-5 地質縦断面図

表-3 地盤物性値一覧

地層	Tr	Kzc	Kzg	Kzs	
湿润密度 (kN/m ³)	19.0	18.5	19.5	19.7	
真比重	2.704	2.673	2.704	2.662	
粘着力 (kN/m ²)	63	100	0	0	
内部摩擦角 (deg)	30.0	27.5	35.0	33.3	
土圧係数	K_{h0}	0.500	0.788	0.426	0.451
	K_{v0}	1.000	1.000	1.000	1.000
地盤反力係数	水平(MN/m ³)	27.3	32.2	33.0	120.0
	鉛直(MN/m ³)	27.3	32.2	33.0	120.0
切羽土圧係数	a	40	40	40	40
	b	1	1	1	1
地盤-鋼の摩擦	動摩擦係数	0.000	0.000	0.315	0.299
	付着力(kN/m ²)	31.3	50.0	0.0	0.0
換算N値	37.8	38.0	127.4	106.6	

値を表-3 に示す。

解析対象区間の土かぶりは約 20.5m で、掘削対象地盤は、上部が古琵琶湖層砂質土優勢層(Kzs)で、下部が古琵琶湖層粘性土優勢層(Kzc)となっている。その境界は掘削が進むにつれて下方に移動する。

また、トンネル縦断面方向の地層の傾斜はほぼ水平である。

古琵琶湖層群(Kz)は、新第三紀鮮新世~第四紀更新世の湖沼成~河川成堆積物からなる未固結の地層で、礫・砂・シルト・粘土の互層で構成され、多数の火山灰を狭んでいる。

砂質土優勢層(Kzs)は、 ϕ 20mm 以下の礫を含む礫混じり砂質土層で、砂は中~粗の比較的粗粒な砂を主体とし、粘性土層や細粒砂が混入している。

粘性土混入部や粘性土との互層部では N 値は低下するが、全体として $N \geq 30$ と考えられる。

粘性土優勢層(Kzc)は、 $N=10 \sim 20$ を示す全体にやや粗粒分を含む粘性土層で、局部的に砂層の薄層や、礫層の介在も見られる。

3-3 シールド機

シールド機の構造図を図-6 に、シールド機諸元を表-4 に示す。

本シールド機は泥水式単胴型シールド機であり、曲線部はコピーカットとジャッキ操作により発生する水平モーメントを用いて施工されている。

3-4 計測データ

表-1 に示す計測データ入力項目のうち、シールド機位置とマシン回転角のヨーイング角は、各リング掘削終了時にトータルステーションを用いたロボティック測量

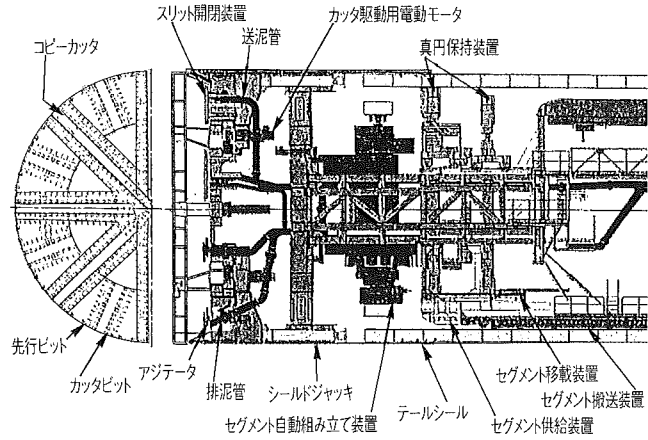


図-6 シールド機構造図

表-4 シールド機諸元

自重	自重 重心位置	C^M	22,000kN (0.000, 0.000, -1.017)m
ジャッキ	本数		40本
	ジャッキ位置半径		5.925m
	ジャッキ断面積		1,134cm ²
	ジャッキ長さ		3.070m
C F	C F厚		0.500m
	開口率		22.5%
	C F回転速度		0.491rpm
テール	テール内径		6.280m
	テール厚さ		0.040m
	C F-ガーダー端部		6.690m
	ワイヤブラス高さ		0.204m
	ワイヤブラス設置範囲		0.976m
その他	ワイヤブラスバネ定数		63.16kN/m ³
	マシン半径		6.320m
	掘削半径		6.330m
	チャンバ半径		6.260m
	マシン長		10.250m
	C F-バルクヘッド		1.400m
	C F-CM原点		4.230m
エレクター中心 C^M		(0.000, 0.000, -4.320)m	

で、その他のデータは、連続的に自動計測システムで計測された。なお、当該箇所については、グリース圧は未計測で、ジャイロは未搭載であった。

ストローク 20cm おきのシールド機の制御・挙動に関する計測データを図-7に示す。ここで、 F_{3z} 、 M_{3p} 、 M_{3q} はそれぞれジャッキ推力、ジャッキ水平モーメント(右向き:正)、ジャッキ鉛直モーメント(下向き:正)を、 CT はカッタトルク(テールより見て反時計回り:正)を、 ϕ_p 、 ϕ_r はそれぞれヨーイング角(方位角に同じ)、ピッチング角(下向き:正)、ローリング角(テールより見て時計回り:正)を、 v_s 、 σ_m 、 γ_m は掘進速度、切羽圧、チャンバ内泥水密度を示している。また、コピーカッタ範囲はインバートを0度として、テールより見て時計回りの角度で示してある。

4-1 解析条件

本解析では、 Kzs 層、 Kzc 層における掘削領域からシールド機スキムプレートまでの法線方向距離 U_n と土圧係

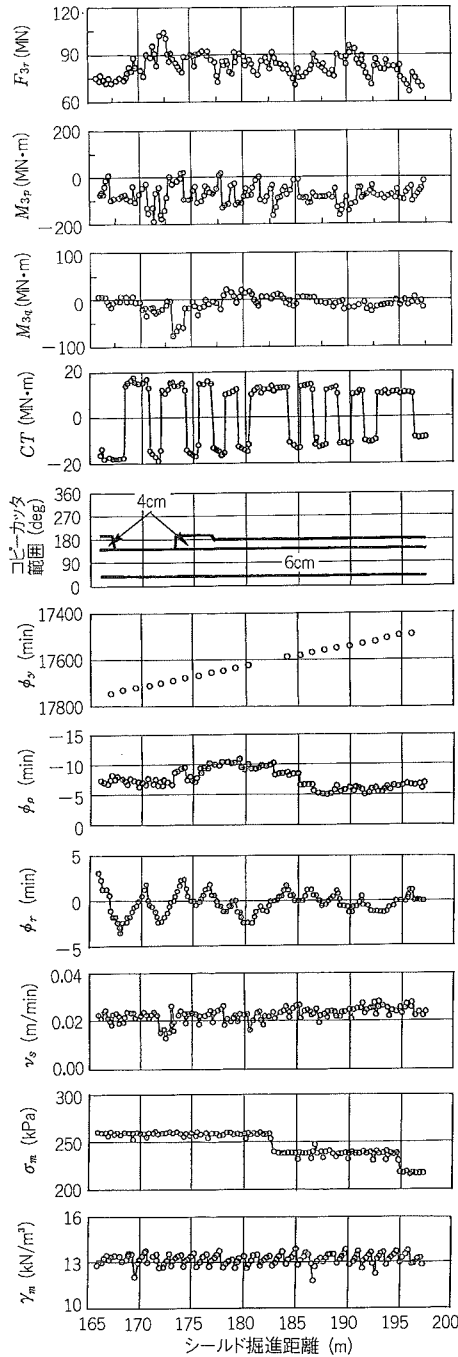


図-7 計測データ

4. シールド機挙動予測

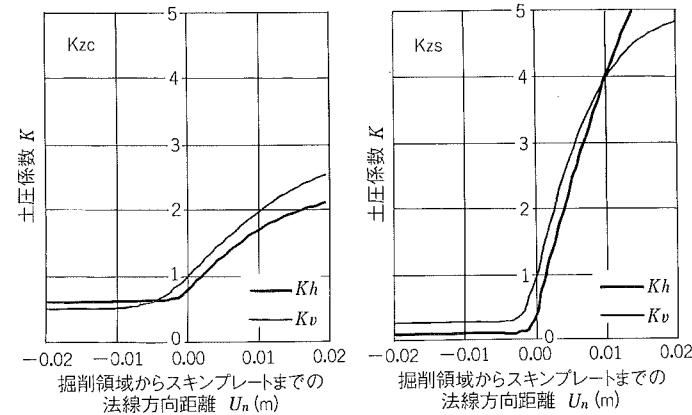


図-8 掘削領域からスキムプレートまでの法線方向距離と土圧係数の関係

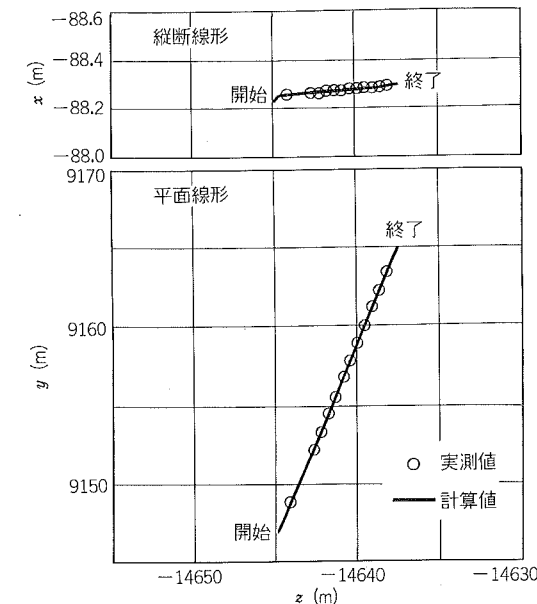


図-9 シールド機軌跡

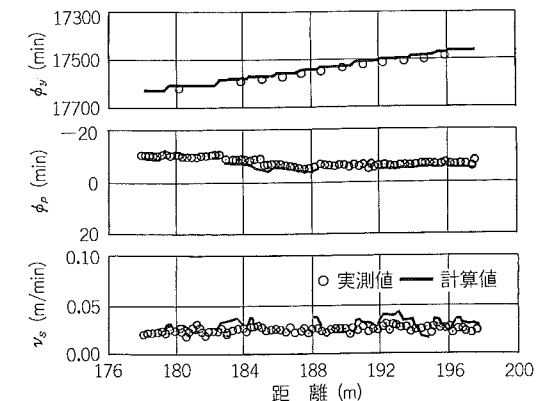


図-10 シールド機のヨーイング角、ピッチング角掘進速度の時系列変化

数 K の関係を図-8のように想定した。

地盤反力の大きさは掘削領域から現在のシールド機スキムプレートまでの法線方向の距離 U_n により定まるため、 U_n はシールド機の挙動に支配的な影響を与える。このため、136リングから、シールド機の位置・回転角、コピーカッタ長さ和使用範囲を用いて、掘削領域(長さ10.8m)を設定した後、20cm おきのシールド機の制御データを用いて、146~163リング(長さ21.6m)のシールド機の挙動予測を行った。

また、カッタフェイス半径とマシン半径の差による全周余掘り部分やコピーカッタによる余掘り部分には、取り込めなかった

掘削土や泥水、および掘削壁面から落下してくる土砂が入り込んで、掘削領域からシールド機スキムプレートまでのみかけの法線方向の距離 U_n は減少する。そこで、本解析では、全周余掘り部分の有効率を15%とし、コピーカッタによる余掘り部分の有効率を40%とした。

4-2 シールド機挙動

図-9にシールド機軌跡を、図-10にシールド機のヨーイング角 ϕ_p 、ピッチング角 ϕ_r 、掘進速度 v_s の時系列変化を示す。

計算値と実測値の誤差は、縦断線形で最大1cm、平面線形で最大3cm、ピッチング角で最大4min、掘進速度で最大2cm/minであり、本モデルによるシールド機の挙動予測結果は実機の挙動と良く一致した。また、ヨーイング角は、計算値が実測値より全体的に18min程度左向きにシフトしていた。これは、①解析対象区間が曲線部で、図-7に示すように左向きジャッキ水平モーメントを作用させて掘進していること、②ヨーイング角が計測されたリング掘削終了時には、ジャッキ水平モーメントが作用していないために、力のつり合いがとれるまでシールド機が右回りに回転すること、③計算値はジャッキ水平モーメントが作用している掘進状態を想定していること、のためであると考えられる。

4-3 シールド機作用力

図-11に掘削領域からシールド機スキムプレートまでの法線方向の距離分布(外向き:正)の例を、図-12にスキムプレートに作用する法線方向の土圧分布の例を、インバート部で切断したスキムプレート展開図上に示す。

図-11より、以下のことがわかる。

- ① カッタフェイスよりの左側(曲線内側)のスプリングライン周辺、テールの右側(曲線外側)のスプリングライン周辺で地盤が受働状態となり、その反対側で地盤は主動状態となっている。これらは力のつり

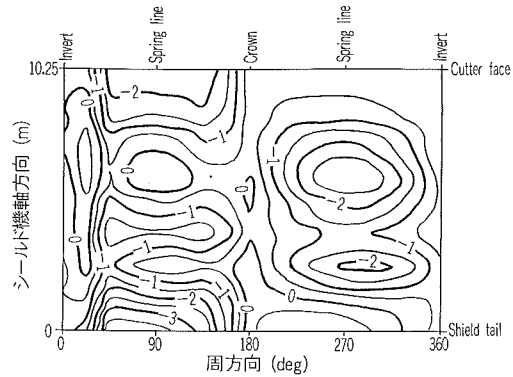


図-11 掘削領域からスキンプレートまでの法線方向距離(cm) (距離 197.737m)

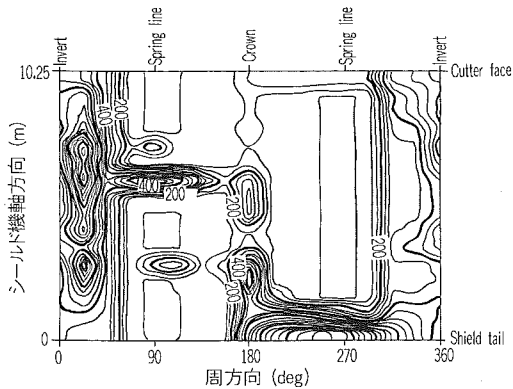


図-12 法線方向土圧分布(kN/m²)(距離 197.737m)

合いの結果であって、トンネル平面線形が左カーブしていることに対応している。

- ② 40度、170度付近で、コンターが密になっている。これは、コピーカット使用範囲36~175度に対応している。
- ③ 左右のスプリングラインに沿う掘削領域からシールド機スキンプレートまでの法線方向距離に凹凸がある。これは、シールド機蛇行のためである。また、図-12より、以下のことがわかる。
- ① カッターフェイスより左側(曲線内側)のスプリングライン周辺、テールの右側(曲線外側)のスプリングライン周辺で大きい地盤反力(法線方向土圧)が作用している。これは、図-11に示すようにシールド機が地盤を押し込み、地盤が受働状態になっているためである。
- ② 地盤反力がほとんど0になっている部分がある。これは、図-11に示すように掘削領域とシールド機スキンプレートの間に隙間ができて、地山が自立しているためである。
- ③ シールド機上部と下部では、地盤反力の分布の傾向が異なる。これは、コピーカット使用範囲が36~

表-5 作用力一覧(kN, kN・m)(距離197.737m)

	F_p	F_q	F_r	M_p	M_q	M_r
F_1	22,000	0	-30	0	-22,373	0
F_2	3	20	-3	112	-15	-4
F_3	0	0	80,378	-57,760	0	0
F_4	-302	-732	-61,518	2,993	43,178	78,227
F_5	-21,701	712	-18,827	54,655	-20,790	-78,223
ΣF	0	0	0	0	0	0

175度であること、図-5に示したようにシールド機がKzs層とKzc層の境を掘進していること、図-8、表-3に示したようにKzs層よりKzc層の方が地盤反力係数が小さいことから、シールド機下部では、地山がシールド機スキンプレートに接しているためであると考えられる。

表-5に作用力の一覧の例を示す。ここで、 F 、 M は力、モーメントで、サフィックス p 、 q 、 r はそれぞれ、鉛直方向(下向き:正)、水平横断方向(テールより見て左向き:正)、マシニング方向(掘進方向:正)である。表-5より作用力がつり合っていることがわかる。

上記より、本モデルは実機の挙動を適切に表現できること、コピーカットによる余掘り部分を含む掘削領域は、地盤反力を規定し、シールド機の挙動に大きな影響を与えることがわかる。

5. おわりに

シールドトンネル現場における施工実績を考慮して開発したシールド機動力学モデルに、現場実測データを入力してシールド機の挙動予測を行うとともに、得られた結果を施工実績と比較することにより、このモデルの合理性を検討した。

シールド機の挙動予測結果は、施工実績と良い一致をみた。また、この結果は、地盤反力を規定する掘削領域(コピーカットによる余掘り部分を含む)がシールド機の挙動に大きな影響を与えることを示し、既往の施工実績と整合している。これらの結果から、本モデルは実際のシールド機の挙動を適切に表現できると考えられる。

したがって、いろいろな施工条件での現場実測データを用いて、本モデルによるシールド機の挙動予測を行い、入力パラメータの精度を高めていけば、シールド機動力学モデルによるシールド機の挙動予測を行うことにより、複雑な地層構造でのシールド機の制御やシールド機の装備能力の事前検討の精度を高めることができるようになると思われる。

今後は、本モデルをもとに、シールド機の制御システムや地盤物性値の逆解析システムの開発、および、中折

れシールド機や特殊断面シールド機の挙動のモデル化を行っていきたく考えている。

最後に、貴重な現場データなどを提供していただいた、国土交通省琵琶湖工事事務所をはじめとする関係者に深甚なる謝意を表すものである。

参考文献

1) 杉本光隆・Sramoon A.: 施工実機に基づくシールド機動力学モデルの開発, 土木学会論文集, No. 673/III-54, pp. 163-182, 2001.

2) 杉本光隆・Sramoon A.: 掘削領域を考慮したシールド機作用力モデルの提案, トンネルと地下, Vol. 32, No. 9, pp. 45-52, 2001.9.
 3) 土木学会: トンネル標準方書(シールド工法編)・同解説, 土木学会, pp. 42-47, 1996.
 4) 菅野由人・川端知憲・浜口幸一・小西真治: 新幹線直下を大断面シールドで貫く, 大津放水路トンネル, トンネルと地下, Vol. 32, No. 4, pp. 39-48, 2001.4.
 5) 前田和也・杉本光隆・A. Sramoon・佐藤 豊・安井充: シールド機動力学モデルによる古琵琶湖層(砂礫土)における現場実測データのシミュレーション, 第56回土木学会年次学術講演会講演概要集Ⅲ, III-B078, 2001.

都市部山岳工法トンネル講習会のご案内

主催: (財)鉄道総合技術研究所
 後援: 国土交通省
 日時: 平成14年5月23日(木) 9:00~17:50
 場所: 野口英世記念会館(東京都新宿区大京町26番地)JR千駄ヶ谷駅より徒歩7分
 内容: 都市部山岳工法トンネルの設計標準の意義と特徴, 設計標準の全体構成など
 定員: 200名
 受講料: 一般: 29,000円/鉄道技術推進センター会員: 24,000円

注)1: 上記金額は、テキスト代・消費税込みの金額です。

2: この講習会では、「鉄道構造物等設計標準・同解説 都市部山岳工法トンネル」(丸善発行)と手引書(鉄道総合技術研究所発行)を使用しますが、受講料にはテキスト代が含まれておりますので、事前にテキストを購入されてもテキスト代金の払戻しは致しませんので、あらかじめご了承ください。

問い合わせ先: (財)鉄道総合技術研究所情報・国際部(技術情報) TEL: 042-573-7351 担当: 工藤 詳
 詳細: 鉄道総研ホームページ: http://www.rtri.or.jp/index_J.htmlのイベントのコーナーでご確認下さい。

研究論文募集のお知らせ

弊誌「トンネルと地下」では、研究論文(実験、技術開発など)を募集いたします。大学や技術研究所などからの貴重な研究成果を多数お待ちしておりますので奮ってご応募下さい。とくに若手トンネル技術者の技術向上を主眼としておりますので、平易・簡潔にまとめていただくようお願い致します。なお、応募方法の詳細につきましては22頁に掲載の『投稿原稿応募のご案内』を参照のうえ、ご応募下さい。

問い合わせ先 株式会社 土木工学社 編集部

〒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)



「異国情緒あふれる」長崎市より

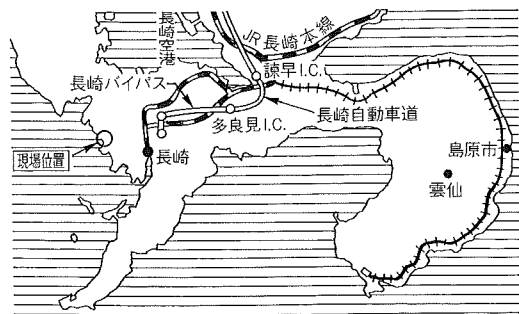
竹谷 芳明

長崎市は九州の西端に位置する人口 421,000 人の都市である。小さな漁村にすぎなかったが一隻のポルトガル船の入港により、教会が建ち、学校、病院さらには唐寺が建ち並ぶ国際貿易港に姿を変えていった。

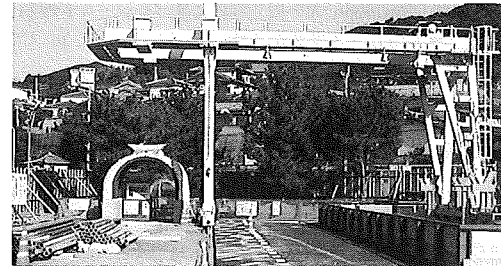
幕府は寛永13年(1636)キリスト教の流布を防ぎ、密貿易を監視し風紀を正すため、市中に暮らしていたポルトガル人を隔離する目的で長崎町人に人工島を造らせた。2年の歳月で完成したのが扇型の島・出島である。以後開国までの200余年の間世界に開かれた唯一の窓として世界の文化や情報が日本中に広がった。

市内には洋館・坂道・港町と象徴されるように、オペラ「蝶々夫人」ゆかりの地とされるグラバー園、26 聖人の霊に捧げられた日本最古の木造ゴシック様式教会の大浦天主堂、鳴滝塾を開き優れた蘭方医を育てた日本近代医学の父シーボルトのすべてを一堂に集めたシーボルト記念館そして長崎の人は東洋人以外の外国の人をすべて「オランダさん」と呼んでいたオランダさんの通る居留地の坂オランダ坂、また中国の華南と華北の建築様式が合体したユニークな建物や、それを取りまく賢人像・論語などすべて中国から取り寄せ中国人自らの手で海外に建てられた唯一の孔子廟など史跡・名所が点在している。

なお、先の第二次世界大戦で浦上の上空500mで炸裂した原爆では、一瞬の閃光で15万人余が死傷した。爆心地の北側の丘に造られた平和公園の正面には上に指した右手は原爆の脅威を、水平に伸ばした左手は平和を、軽くとじたまぶたは原爆犠牲者の冥福を祈っている巨大な平和記念像が座している。毎年8月9日は



位置図



現場全景

慰霊祭がとり行われ平和の誓いを新たにしている。

四季の華、まつりと行事には長崎の時代と風俗習慣にいろどられ育ったロマンチックな異国情緒あふれるものがある。冬の長崎は1万2千個の極彩色のランタンに包まれる中国文化のランタンフェスティバル、春のハタあげ大会、港を中心に栄えた長崎の夏の一大イベント長崎ペロン選手権大会は竜首を舐先に飾った船を筏板を持って競漕されたことに由来する。このペロン選手権大会には当トンネル工事の地元柿泊チームも参加し好成績を収めている。他にも初盆の霊を船に乗せ、極楽浄土へ送り出す長崎の伝統行事精霊流し、諏訪神社の秋の大祭「くんち」は360余年の歴史と伝統を誇り、日本三大祭の一つで「長崎くんちの奉納踊り」は国の重要無形文化財に指定されている。

さて、西部27号汚水幹線共同トンネルは長崎市街より国道202号で北西へ約10kmの風光明媚な海岸線に位置し、長崎市発注の水道局と下水道部の共同トンネル工事である。工事延長1,380.5m、仕上がり断面幅3.7m、高さ3.65mの機械掘削のレール工法で、平成13年9月から発進基地の立坑築造工を開始した。当工事は、立坑よりNATMで掘削するものでシールド工法の長所も兼ね備えている。立坑上にトンネル工事の守り神である化粧木を祀るための坑口を付けて、平成14年1月18日に安全祈願祭をとり行った。いよいよトンネル掘削に着手するが、地域住民の方々との交流を深め振動・騒音・ほこりなどの環境問題には十分留意し「安全最優先」をスローガンに作業所一丸となって無事故・無災害で竣工を目指していく所存である。

(不動・星野・菱興特定建設工事共同企業体所長)



地山等級分類の改善提案

福島 啓一*

1. 岩盤等級分類とトンネル

トンネル工事は、地質の良し悪しによって大きく影響されるので、工事の計画・設計・施工の各段階で地質学の知識や地質専門家との共同作業が必要になる。

しかし、地質調査の詳細な報告書は専門の違うトンネル工事の担当者・土木屋にはなかなか理解しがたいものである。この欠点を補うものとして地山等級分類が考案され、わかりやすく便利に使用されるようになった。田中¹⁾によると岩盤分類は初め、原石山の骨材として使用可能かどうかを判定し、土木屋と共通の尺度を持つために考案されたという。これは非常によい考えであり、便利でもあったのですぐアーチダム、重力ダムの基礎岩盤として適するかどうかの判定にも用いられるようになった。それがいつの頃からかトンネルにも用いられるようになった^{2)~4)}。海外でも Terzaghi⁵⁾ は岩盤の割れ目間隔を重視し、岩盤分類と支保工荷重の関係を示す表を提案した(表-1 参照)。この流れは、RQD(Deere), RSR(Wickham), RMR(Bieniawski), Q-system(Barton)などの岩盤分類へと発展している。

現在のトンネル示方書⁶⁾、各種マニュアル^{7)~10)}などによるとトンネル工事の計画・設計では地山等級さえわかれば、断面分割や支保の形式、種類、寸法、数量などが決まるばかりでなく、削孔速度、火薬量、月進、トンネルの工期・工費まで決まることになっている¹⁰⁾。これは計画・設計・施工に携わる技術者としては非常に便利である。土木屋はあまり難しい計算や地質の説明に悩まされなくてもよくなった。地質調査の担当者としてはトンネル縦断図に地山分類・等級分けを書き入れることは、作業報告書作成の最後の作業であるとともに、もっとも重要な部分となった。

このように便利な岩盤分類であるが、現状ではトンネルに用いるには少し不足する点と、その使い方にもう少し

表-1 幅B、高さH_rで1.5(B+H_r)以上の深さにあるトンネルの支保工に働く岩荷重H_r⁶⁾

地質条件	岩荷重 H _r (m)	備考
1. 堅硬で侵されていないもの	0	はだ落ちや山はねのある場合は軽易な支保工を要する
2. 堅硬で層状または片岩状	0~0.5B	軽易な支保工を用いる。荷重は場所ごとに不規則に変化する
3. 大塊状で普通程度の節理	0~0.25B	
4. 普通程度に塊状で割目あり	0.25B~0.35(B+H _r)	側圧はない。
5. はなはだしく小塊で割目の多いもの	(0.35~1.10)(B+H _r)	側圧は小さいか、またはなし。
6. 完全に破碎されているが化学的には健全	1.10(B+H _r)	相当の側圧。漏水によりトンネル下部が軟弱になるときは、支保工下部に通し土台を設けるか、円形支保工とする必要あり
7. 徐々に押し出す。中程度の土かぶり	(1.10~2.10)(B+H _r)	大きな側圧。インバートストラットが必要。
8. 押し出してくる。大きな土かぶり	(2.10~4.50)(B+H _r)	円形支保工が推奨される。
9. 膨張性の岩	(B+H _r)の値にかかわらず80m以上を用いる	円形支保工が必要。著しい場合は可縮支保工

※原文にある図、注などは省略した。

し改善を要する点とがあるようである。

第一に、あまりにも便利に使われ過ぎている点である。現状では地山分類の使われ方は図-1のような流れになっており、日本道路公団の設計要領には、『支保構造の当初設計は、地山の等級に応じて原則として表4-19に示す標準支保パターンによるものとする』⁸⁾、日本鉄道建設

*住鉄コンサルタント(株)東京支店技師長

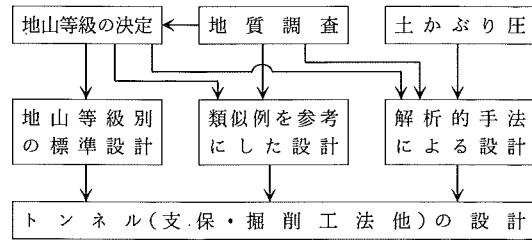


図-1 地質調査からトンネル支保設計までの流れ：現状

公団のNATM設計施工指針には、『一般的な地山条件による標準的な断面の当初設計は、地山等級に対応した標準支保パターンにより行うことを原則とする』⁹⁾などとなっている。類似例による設計や数値解析は例外的な場合に用いられるだけでほとんどの場合、地山等級が決まるとすべてが決まる。トンネル工事の計画、設計、施工、保守、補修の流れの中で、こんなに重要な役割を持つようになった地山分類について、何かを考え、論じようとするとき、単に地質技術的に考えるだけでなく、まず、このような背景について考えねばならない。

現在の地山分類はあまりにも巨大になり、独裁的ともいえる権威を持っている。地質調査報告書にはもちろん岩盤分類以外の記事も沢山あるが、もともとが土木屋にはわかりにくく、難しい地質についての細部の記述は、読み飛ばされ無視されることが多い。たとえそれを読んで理解したとしても、多くの人にはそれを設計や施工にどう生かすのか、地山等級から導かれる支保や施工法を否定するだけの論拠はなく、多少の疑問が残る、心配をいだきながら、頭の隅にしまっておくだけになる。

第二に、地山分類そのものに関する問題もあるため地山分類についての論議は、純技術的な問題と、その使用方法という両面で考えなければならない。

2. トンネル安定の決定要因

2-1 地山の性質

トンネル標準示方書その他では地山等級からトンネル工事の工期・工費などあらゆるものが決まるようになっているが¹⁰⁾、その基本は地山等級に応じて、①断面分割と支保工の種類・寸法、②削孔速度や火薬量、余掘り率、増え率、などが決まることである。

①に関しては、断面を分割するほど作業能率が悪いし、支保工の設置も、撤去も増える。支保工の材料費、施工費、施工時間は工費、工期の重要な要素である。したがって、地山分類から断面分割や支保工の形式、寸法が決まるまでの段階が正しければ、サイクルタイムその他が決まることには問題は少ないと思われる。②の削孔速度や火薬量は経験的にも岩質から決めて良さそうである。

土かぶり圧よりも遥かに小さな力でトンネルを支えられる、土圧は地質により変わるということは早くから知られていた。TerzaghiやKünzelの落とし戸の実験、免圧圏説、Protojakonovの土圧説、Terzaghiの土圧理論式¹¹⁾は土かぶりに無関係に、地山の性質だけによって土圧が決まると結論している、これをわかりやすく説明している。支保工の変形を許すと土圧が減るというNATMの基本原則まで落とし戸の実験で説明する人もいる。このように土かぶりと関係なく地山の性質によって荷重が決まるという考え方をゆるみ荷重説と呼んでおく。一面の真理を表しているわけである。

Terzaghi⁹⁾はトンネル支保に働く荷重と地山の性質(主に割れ目間隔)には深い関係があることを指摘し、地山を9種類に分け、支保工に働く荷重の概略値を推定する表を示した(表-1参照)。これを発展させて割れ目間隔などを数値化し、その数値から支保工が全部決まるような説をBieniawski, Bartonらは展開している。わが国の岩盤分類も基本的には同じ流れのようである。ゆるみ荷重が支配的な場合はこれは十分有効であり、また、大部分のトンネルはこの範囲にあるので実用的には十分役立つものである。

2-2 土かぶりの影響

土圧の原因が土かぶりにあるということは弾性論的なアプローチからトンネル問題を見る人にはあたり前過ぎることである。Fennerはこれを塑性状態まで発展させ、支保工の変形を許容すれば作用土圧が減ることを論じた。これはNATMの理論的基礎となっている。

Terzaghiも土かぶりの影響に気づいて Theoretical Soil Mechanics¹¹⁾では現在Fennerの式、またはFenner-Kastnerの式として知られ、NATMの基本原則とされている式を紹介している。また、荷重表(表-1参照)では、土かぶりが中位ないし大きい場合と膨張性の岩盤(7~9)はゆるみ荷重の例外とし、割れ目間隔との関連には言及せず、逆に土かぶりが土圧と強く関係していることを示唆している。しかし、Terzaghiの理解は不十分であり、のちにRabcewiczは土圧には土かぶりの影響が大きいことに着目し、また、支保工の変形を許すことで土圧を低減できることを提言した。

Rabcewiczの見解はNATMとして結実し、今では世界中で広く用いられている。NATMの基本は、このFennerの式であり、土かぶりや支保の剛性の関係から支保荷重が決まるということであり、これが今のようになり普及したのはこの考えが、ゆるみ荷重説よりもより正確に実情をうがっていることの証拠であろう。この荷重に対して、壊れないだけの支保を施工することがトンネル支保の基本である。

ゆるみ荷重と土かぶり荷重のどちらが本当なのか、詳細は省略するが、土かぶりが小さい間はゆるみ荷重説でほぼ間違いのないようである。トンネル直上で土かぶり圧がより小さくなった分の圧力はトンネル両側の側壁部に働くが、土かぶりが大きくなると、側壁部がまず土かぶりの約2.5倍になるこの圧力に耐えきれなくなり、横からの押し出しが起こってくる。側壁の押し出しが起こらない程度の土かぶりまではゆるみ土圧、それを超すと土かぶり圧というのが両者に公平な判断であろう。

多くのトンネルの計測結果で天端沈下よりも側壁押し出しの方が大きいのは、もうゆるみ土圧だけでは説明しきれない範囲になっていることを示している。落とし戸実験では側壁に相当する部分が頑丈な実験装置の一部になっていて、土圧や変形の測定もされないのだからこの現象が観測されない。

とはいっても現在の地山分類とそれにもとづく標準支保パターンで大部分のトンネルが支障なく掘られているとの反論がある。これはゆるみ土圧の働くトンネルが数としては相当多く、それに対して現在の方式はほぼ妥当な答えを与えるからであろう。『近年の地山分類は分類の結果として支保構造が直接求まるように変化してきている。……結びつけるのは過去の事例、実績である。……過去のデータを用いる……このような手法を用いる限りにおいて、過去のデータ以上の合理化を図ることは出来ない。』¹²⁾との指摘もある。現状でもおおむね正しいとしても、さらに進歩するためにはこれを乗り越える必要がある。

2-3 地山等級は強度等級か、支保選定指標か?

岩盤を等級分けすることは、大まかに言うと岩

盤の強度でA, B, C, Dなり、優、良、可なりの成績別に分けることと考えられる(表-2参照)。

この他、変形係数も地山等級から求められるとの説もある(日本鉄道建設公団：NATM設計施工指針⁹⁾、参考資料-4.12.2)。

$$\left. \begin{aligned} \text{硬岩} &: D_0 = 10^{(0.35x+3.30)} \\ \text{中硬岩, 軟岩} &: D_0 = 50^{(0.35x+2.25)} \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

ここに、 D_0 ：地山の変形係数(kgf/cm²)

x ：地山等級の整数値(1 ≤ x ≤ 5)

しかし、軟岩でも土かぶりが小さければ自立する。硬岩でも土かぶりが大きければ山はねを起こす。丹那トンネルでは硬い粘土で掘削するときはかなりの量の火薬があるのに、後で膨れてきてどんな強力な支保をしても破壊されるという膨張する山にあたった。この粘土は後に温泉余土と呼ばれ、トンネル屋に恐れられるものとなるが、『粘土といえばやわらかいものと思われているが、これはそうではない。普通の岩石とおなじようにダイナマイトを使わなければ崩せないほど堅いのである』¹³⁾。ここは、土かぶり約500mの丹那トンネルでももっとも山の高いところであった。地山内にある状態では強度もあり、膨張もしない岩石でもトンネル掘削に伴い、集中応力が働き、岩石の強度を越すと、塑性流動を起こし、体積膨張するのである。つまりトンネルの場合は強度と荷重の大小関係で挙動が左右され、必ずしも地山そのものの軟硬、強度の大小によらない。土かぶりさえ小さければ軟岩の中に古い素掘りのトンネルが残っているのが何よりの証拠である(写真-1)。

支保選定のための岩盤分類に荷重の項がないのはおかしいということは多くの人が考えたようで、Rabcewicz-

表-2 FEM計算の入力に地山等級を利用するときの標準値⁹⁾
(日本鉄道建設公団；NATM設計施工指針)

地 山 等 級	粘 着 力 C(kgf/cm ²)	内部摩擦角 φ	初期変形係数 D ₀ (kgf/cm ²)	初期ポアソン比 ν ₀	単位堆積重量 t/m ³	弾性限界	線形パラメーター
硬岩 IV _N 以上相当	60.0	55	100,000	0.25	2.6	0.2	6
硬岩 III _N 相当	40.0	55	50,000	0.25	2.5	0.2	6
硬岩 II _N 相当	20.0	50	20,000	0.25	2.4	0.2	6
中硬岩 V _N 相当	10.0	45	10,000	0.30	2.3	0.3	4
中硬岩 IV _N 相当	5.0	40	5,000	0.30	2.2	0.3	4
硬岩・中硬岩 III _N 相当	3.0	35	2,000	0.30	2.1	0.3	4
硬岩・中硬岩 II _N 相当	1.5	30	1,000	0.30	2.0	0.3	4
硬岩・中硬岩 I _N 相当	0.7	25	500	0.30	1.9	0.3	4
砂質土 N>50	0.2	40	1,000	0.35	2.0	1.0	2
砂質土 N=30~50	0.2	35	500	0.35	1.8	1.0	2
砂質土 N=10~30	0.2	30	200	0.35	1.6	1.0	2

※(データの並べ方などを一部変えた)

Pacher の分類¹⁴⁾、仲野の分類には荷重と強度の比が含まれた。

仲野^{15, 16)}は地山強度比 qu/σ_v の大きさにより、次のように地山を分類し、支保の設計をするように提案している。

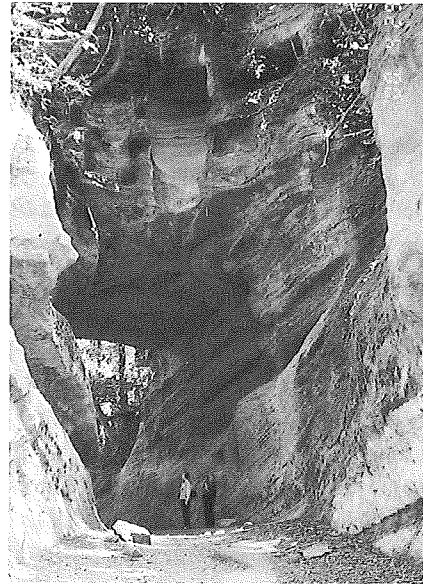
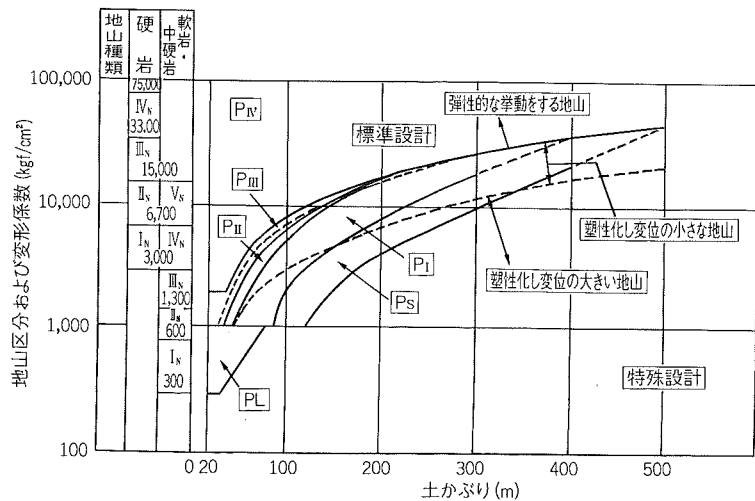


写真-1 鎌倉時代の中掘られた大断面のトンネルで、以来1000年近くの間安全に自立している。この他鎌倉にはヤグラと呼ぶ多くの横穴式墓があるし、もっと時代が下ると全国の至る所に水路、道路、食糧貯蔵用など多くの素掘りトンネルがある。当時の堅やたがねでは硬岩を掘るのは大変なので、その大部分は軟岩の中に掘られている。

写真-1 鎌倉時代の中掘られた大断面のトンネル



(鉄道建設公団：NATM 設計施工指針(参考資料-4.12.2 地山の変形係数と土かぶりから支保パターンを選定する方法・支保パターン適用範囲(案))

※わかりやすくするために少し書き改めた。

図-2 支保工選定図⁹⁾

- qu/σv ≤ 2 押し出し性~膨張性
qu/σv = 2~4 軽度の押し出し性~地圧が大きいと推定される場合
qu/σv = 4~6 地圧が大きいと推定される場合
qu/σv = 6~10 地圧があると推定される場合
qu/σv > 10 地圧がほとんどないと推定される場合

ここに、qu：地山の一軸圧縮強度、σv：トンネル位置での鉛直圧力、σv=γH

Rabcewicz ら¹⁴⁾はトンネルの切線方向応力σtと地山強度σodの比を、地山分類の要素に取り込んでいる。仲野の考え方の一部はその後他の分類法にも取り入れられている^{8), 9)}。

日本鉄道建設公団の NATM 設計施工指針⁹⁾では、地山等級による支保設計の他に参考資料では地山等級と土かぶりから支保パターンを選定する方法というのもあり、これを見ると同じ地山等級でも土かぶりにより支保パターンが変わるようになっている(図-2参照)。

現実には地山等級とトンネルを掘削したときの地山の挙動が対応しなくなって、支保工を変更した例も多い。寒風山トンネル¹⁷⁾では事前予測で B, C であった区間 1,120m 間を D に変更しているが、ここは土かぶり 600m 以上の区間であり、地質調査による事前予測が違ったのではなく、土かぶりが増え、荷重が増えたために B, C 地山に対する標準支保では耐えきれなかったためのものである。

2-4 C と φ の影響

同じく強度一杯の力が働いて破壊する場合でも、破壊の仕方、破壊・降伏後の挙動は硬岩と軟岩、土砂などの岩種により、また強度により違う。強度の成分が粘着力なのか、内部摩擦角なのかによっても違うようである。

コンクリート供試体の強度試験を見ているとわかるが、比較的低強度のコンクリートは破壊が始まると割れ目も見えないうちから荷重が下がり始める。なれた人はこの段階で荷重を止める。600 kgf/cm² を越すような高強度のコンクリートでは激しい音を立ててコンクリートは爆裂し、危険なので試験係は破片が飛び散らないようにタオルなどで供試体の周りを巻いて防護しながら圧縮試験をする。

切羽で観察・計測して崩壊の予測をするにも、何らかの予防対策をとるにも、降伏後の応力再配分を考慮して設計や施工をするにも崩壊の仕方の違いや、降伏・崩壊後の挙動、強度低下の様子を知っておく必要がある。土では計算も試験も一軸強度 qu だけでなく、必ず粘着力 C と内部摩擦角 φ に分けて考える。岩石、岩盤でも同じく比強度だけでなく、強度の絶対値を知り、さらに粘着力と摩擦成分に分ければ、トンネルの挙動をもう少し精度良く予測できるようになると考えられる。

2-5 切羽の安定と長期土圧の違い

切羽の安定不安定と長期の土圧は違い、覆工に働く荷重と支保工に働く荷重とは違う反応を示す。『風化した岩石内における自立時間は破碎岩におけるよりは遥かに長い。したがって、切羽の鏡止めは風化岩ではほとんどない。他方、トンネル支保工に働く岩石荷重は数週または数日間で、最初のものよりも数倍もその値が増加することがある。全く同じような現象に、堆積粘土内のトンネルでも遭遇する。』⁹⁾と Terzaghi もいっている。切羽の自立と支保に働く荷重、覆工に働く荷重は必ずしも比例しないようである。

この原因の一つは、地山の強度特性である。土、岩石、コンクリートの強度は側方から拘束されると増す。Mohr-Coulomb の式では

σc = (1+sinφ)σ3 + (2C cosφ) / (1-sinφ) = qu + (1+sinφ)σ3 / (1-sinφ) (2)

τ = C + σ3 tanφ (3)

の関係がある。

ここに、σc：圧縮強度、τ：せん断強度、σ3：拘束圧力、支保工反力と考えて良い。qu：一軸圧縮強度、C：地山の粘着力、φ：地山の内部摩擦角。

この式より内部摩擦角 φ が大きい地山では拘束圧力 σ3 が増えれば、著しく強度が増すことがわかる。

応力状態は切羽付近と支保がすんだ区間とは違う。最大応力 σ1 は切羽鏡による 3次元効果、ドーム効果のせいで切羽付近の方が小さい。しかし、支保をする前の切羽天井、切羽鏡では拘束圧力 σ3 はゼロであるから、地山の強度 σc も小さい。吹付けコンクリート、ロックボルトで支保したあとの地山は 3次元効果がなくなるので応力 σ1 は増えるが、3軸応力状態になり強度も向上する。同じく切羽でも、支保した後でも天端と底部では σ3 が違い、強度も違う。

C, φ の違いがトンネルの土圧にどのように影響するかは Fenner-Pacher 曲線(地山応答曲線)を計算してみるとよくわかる。土かぶり地山の強度を同じにして、つまり地山の比強度 qu/σv を同じにして Fenner-Pacher 曲線を計算した例を図-3 に示す。

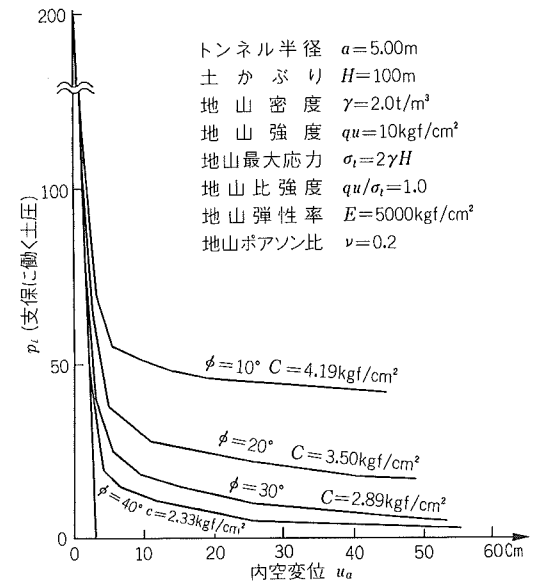


図-3 地山の比強度が同じで、C, φ が違う場合の Fenner-Pacher 曲線の違い

地山が降伏するまでの挙動は比強度が同じであれば同じであるが、降伏した後では C, φ が違うと地圧も変形量も全く違うことがこの図からわかる。

2-6 インバートの必要性

トンネルの安定が土かぶりによらず、むしろ土かぶりが小さいときの方が地山アーチがでず危ない、土圧はゆるみ荷重が主で、地山の性質(地山等級)によるものから考えれば坑口近くはインバートがあるという結論が得られているようである。現在の地山等級分類では土かぶりの小さい場合はインバートを付けると決められている例が多い。例えば、道路公団の設計要領⁸⁾では『4-6-3. 覆工の形状(2) インバートは、原則として、坑口部および地山等級 D・E の区間に設けるものとする』とされている。『ただし、地山等級 C にあっても、地質が泥岩、凝灰岩、蛇紋岩などの粘性土岩でかつトンネルの長期耐久性を損なう恐れのある場合などにはインバートを設置するものとする』と解説で補ってはいいるが、何となく付けたしの感がある。

日本鉄道建設公団の指針⁹⁾でも『地山等級 IN 以下に該当する場合には、インバートを設置しなければならない。……』、『地形上偏圧が予想される場合、あるいは力学的機能を必要とする場合にはインバートを設計する……特に、土かぶりが小さい場合や、他構造物との近接により荷重が作用する場合……には有効である』とほぼ同じ傾向にある。

Terzaghi の表(表-1参照)⁹⁾には土かぶり中程度の、または大きい押し出し岩の備考に『大きな側圧、インバー

トストラットが必要、円形支保工が推奨される」と注記があるのは全く逆の結論である。日本の岩盤分類、RMR、Q-system では Terzaghi のこの注記がすっかり忘れられているのは大きな問題点ではなからうか。

このため土かぶり大きい泥岩や凝灰岩の中のトンネルで、供用開始後盤ぶくれを起こし、道路交通や列車を止めてインバートを施工せざるを得ない例がいくつか目に付く。

『浅間山トンネルの盤ぶくれ変状は、泥岩による膨張性地圧が原因と判断された。……今回工事においては、インバート本体工に加えて、各種付帯工が生じ、……「建設時にインバートを設置していれば……」という思いが生じた。今後、建設段階においては、管理段階での対応の困難さや工事の難しさ(とくに暫定2車線供用でのインバートなどの施工は、交通運用上においても困難)について、深い配慮が必要と考える』¹⁹⁾。

『盤ぶくれを起こした原因を次のように考えた。(1)路盤部がインバート構造でなかったこと(施工中、定期的に行っていた水平の内空変位測定では、当該区間も、前後の区間と同様に1~2mm程度の最終変位量でしかなく、施工段階でインバートの必要性を判断できる情報はなかった)、(2)……このような例はまれであるかもしれないが「膨張速度の遅い地山」という評価を切羽において簡易に行える調査・計測法を検討する必要性のある事例といえる。さらに、本トンネル変状は当初からインバートを設置していれば防げたことも考えられるが、現在の道路トンネルにおけるインバートの設置基準からは本トンネルの地山はその条件に該当しない。このため、インバートの設置基準を掘削時の安全を基本とした設計の考え方と別に永続的な地圧に対する設計の考え方も含め、別途定性的な指標の検討を示唆する事例であるとも考えられる』¹⁹⁾。

大島は『施工中はスイスイと掘削してきた泥質岩のトンネルにインバートをつけなかったことに起因している変状が多いことは注目値する』²⁰⁾、『泥質岩のトンネルでは、施工中はほとんど問題なく掘削できるためインバート構造としなかったことに起因した変状が以外と多いことは注目値する』²¹⁾、『C地山(土質における、粘着力Cと内部摩擦角φの記号からきた略称で、粘着力項が顕著な粘土質地山をC地山、砂質地山をφ地山と呼ぶことがある)は掘削段階では目立たなくとも、緩やかな膨張現象を示すことがある。したがって、第三紀以新のC地山部分では、施工段階の膨張性の有無に関わらずインバート構造としておくのが無難である』²¹⁾と言っている。これらは、粘土質地山と砂質地山を区別すべきことを主張するとともに、支保と巻立てでは違う分類にすべきこ

とを暗示している。

2-7 時間の影響

粘性地山にインバートがいる理由は、粘着力があるので支保反力σ₀=0でも相当強度があり、切羽での自立はよいが、路盤コンクリート、舗装の自重程度のσ₀の増加による強度増加は少ないこと他に、時間が経つと強度低下が起こるためである。強度と時間の間には次の関係²²⁾があり、時間が経つと強度は低下する。

$$(\sigma^p - \sigma_0^p)t = k \quad (4)$$

$$\sigma_0 \approx 0.7 \sigma_c$$

ここに、σ: t時間後の地山強度、σ₀: 地山の長期強度、σ_c: 基準強度、普通の強度試験で求められる強度、t: 載荷持続時間、P、k: 岩質、岩種による定数、強度を粘着力Cと内部摩擦角φに分けると、村山²³⁾は『土の強度要素のうち、粘着力には時間依存性が見られるが、一方、内部摩擦角φは載荷時間による変動は無視しても差し支えないほど小さい』として次式を示している(図-4参照)。

$$\tau_f = \tau_0 - d \cdot \log t_f > \tau_0 \quad (5)$$

ここに、τ_f: 破壊せん断力
t_f: 破壊までの時間(分)
τ₀: 長期せん断強度
τ₁: t=1分のときのせん断強度
d: 定数

粘着力を主とする地山は時間経過による強度低下の割合が大きいため、インバートがいるわけである。

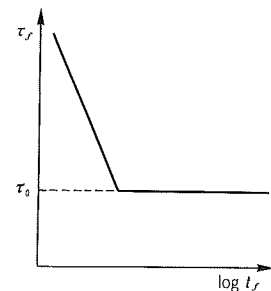


図-4 粘着力の時間効果(村山による)

3. 地山等級とその使い方について改善案

3-1 荷重と強度の分離

トンネル問題(図-1)で数値解析の方に行けば、少なくともトンネルの大きさD、荷重γH、kγHと強度C、φ、弾性率E、μは重要な因子としてすべての計算²⁴⁾に含まれている。地山等級分類による経験的設計では小トンネルについては別の表を用意してあるので、トンネル寸法は考慮されているが、γH、kγHは全く無視している。しかし、計算では非常に重要な要素である土かぶり圧を

全く無視しているのであるから、つじつまが合わない。つじつまを合わせるには、支保についての記述をする部分は2次元の表にし、例えば、横軸に地山の等級区分、縦軸に地山の比強度を取り、交点に支保の設計が入るようにし、地山等級は地山の強度特性を示すだけにするとよい。

3-2 岩級・粘着力と摩擦係数の分離

土質力学、岩石力学ではいずれも強度を摩擦項と粘着力項の2つに分けて論じている。地山等級分類にもこの考えを取り入れるべきであろう。比強度だけでなく、強度の絶対値も大切であることは先に述べた。

3-3 荷重の明確化と鉛直・水平圧力の分離

鉛直荷重σ_vは単純な土かぶり荷重γHだけでなく、背斜か、向斜かなどにより土かぶり圧γHより増減する。水平荷重は=kγHとされるが、側圧係数kには地殻変動や褶曲構造の影響がある。土かぶり40~100mで山はねが起き、そこでの側圧係数kは約7であったという例²⁴⁾もある。地質調査でσ_vやkを求める必要がある。

トンネル内空面での弾性状態のときの最大切線応力σ_tは支保工がない場合にはσ_t=3σ_v-σ_h≈2.5σ_v前後で、どんな難しい計算式を使おうが結果にそれほど大きな差はない。比応力を考えるときはこのσ_tと強度quの比で考える。

ゆるみ荷重の場合にはトンネルの大きさが影響するが、土かぶり圧の場合トンネルの大きさによる差はほとんどない。

※日本では一般にqu/σ_vを地山強度比という術語として使っている。しかし強度比という術語は意味が不明である、あるいは誤解しやすい(qu/γHなのかγH/quなのか不明)。このような場合に使われる術語としては比を最初に持つのが一般的である。比重、比体積、比熱、比高、比抵抗、比電荷など。ここで比重と比体積は逆数になるが、意味を誤解することはない。比重などでは1という値は特別な意味を持つ。1より大きければ水中に沈む、小さければ浮く、比強度qu/σ_tが1より小さければ破壊または降伏する、1を越えていれば弾性範囲である。σ_tが必ずしもγHに比例しないことも含めてこのようにするのがより正確であり、一般性もあると考え、新しい用語であるが使用した。比応力は比強度の

逆数である。

3-4 地山等級と支保等級の分離

支保は地山側の条件によるだけでなく、施工法、トンネルの大きさ、斜坑や立坑か水平トンネルか、発破掘削か機械掘削か、地山排水工法をとるかどうかで変わる。トンネルを掘る方向で流れ盤になるか、受け盤になるかで変わる。下向きの斜坑や立坑では、切羽でのゆるみが少ないので支保は1ランク小さくとも言われている。このような場合、地山等級を変えるのではなく、地山等級と支保機能の対応を1ランクずらすなどの処理をすればよい。

一つの切羽の中で硬軟岩が入り交じっていたり、1発破ごとに地質が変わるような混合地山についても、地山等級と支保等級をずらす必要がある。

3-5 切羽支保と切羽から離れた部分の覆工との記述の分離

将来的に巻立てに働く地圧の大きさと支保の働く荷重や変形量、切羽での自立時間、縫地や鏡止めが必要かなどとは必ずしも比例しない。分類の各項目ごとに、切羽での現象と覆工に働く土圧、インバートの必要性は分けて記述する必要がある。

3-6 支保の標準設計

以上を考えると、地山等級から直ちに支保が決まるのではなく、現行岩盤分類に近い5段階程度の分類に粘性岩、砂質岩の区分を加えたものと、地山の比応力σ_t/quによる分類を縦横に組み合わせたと表-3のような2次元分類が支保の選定表に適している。2次覆工、切羽での補助工法についてもこれに類した別の表が必要になる。

これを受けて図-1の流れは図-5のようになる。

※表-3は概念を示したもので、実用にはもっと詳しくする必要がある。日本鉄道建設公団 NATM 設計施工指針(図-2参照)のように土かぶり別に示してもよいが、地山は必ずしも良いから悪いへ一列に並ぶわけではな

表-3 岩盤分類と支保(案)

地山分類 比応力σ _t /qu	A 硬岩	B 中硬岩	C 砂質 破碎岩	C 粘性 軟岩	D 風化岩	Es 砂質土砂	Ec 粘土質土
1.25 以上	山はね 防 止	支保Ⅱ"	支保Ⅲ"	支保Ⅳ"	支保Ⅴ"	支保Ⅵ"	支保Ⅶ"
0.8~1.25	ボルト +金網	支保Ⅱ'	支保Ⅲ'	支保Ⅳ'	支保Ⅴ'	支保Ⅵ'	支保Ⅶ'
0.4~0.8	ボルト +金網	支保Ⅱ	支保Ⅲ	支保Ⅳ	支保Ⅴ	支保Ⅵ	支保Ⅶ
0.2~0.4	ボルト +金網	支保Ⅰ	支保Ⅱ	支保Ⅲ	支保Ⅳ	支保Ⅴ	支保Ⅵ
0.25 以下	無支保	ボルト+金網	吹付け	吹付け+ボルト			

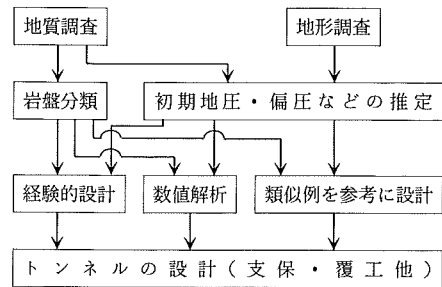


図-5 地質調査からトンネル支保設計までの流れ: 変更案

く、支保も強いから弱いへ一列に並ぶわけではなく、それぞれ個性がある。土かぶり大きいと1ランクずらすなどは必ずしもいかない。支保設計とは吹付けコンクリートの厚さやボルトの本数、長さを決めることだけではなく、地山の挙動をみながら設置時期や断面分割、1回の掘進長、許容変形量などを判断していくことを含む。各等級の中の説明には切羽の自立性、断面分割や補助工法の選定基準、巻立ての設計などの記述があることになる。支保IV', V', VII'は、掘削後直ちにインバート閉合が必要と考えられる。

※軟岩の場合、比応力が大きくなるとトンネル内での様相が一変することがかなり知られてきたが、土砂の場合も同様である。筆者の経験では、あるトンネルの土かぶりのごく小さい区間で、側壁導坑の切羽安定で苦労したトンネルが、上半を掘ったとき、数m土かぶりが小さいだけで上半切羽の安定にはそれほど問題なかった例もある。土砂地山であっても、土かぶりが小さく、地上に道路や建物が無い場合はかなり軽い支保でよいし、硬岩であっても土かぶりが非常に大きい場合はそれなりの対策を要する。

※地山等級CはC_{II}, C_{III}, C_Lと細分した方がよいか、CとEは砂質地山、粘性地山と2分したが、A, B, D地山も粘性、砂質に分けるべきかなど、今後研究を要する。

※混合地山、互層、短い区間で地山変化をくり返す場合などは支保は悪い方の地山に合わせ、掘削能率は硬い方の地山に合わせて選定する。岩塊自体は硬質でも、節理面に粘土を挟在したり、岩塊が流れ目になっていると、肌落ちの危険があり、鋼製支保が必要になる。塊状地山、砂質地山では切羽でのゆるみが問題になるので、この他にトンネルの大きさが支保決定要因にはいる。ただし、それはNATMで施工する場合はTerzaghiが提案したB, H(トンネルの幅と高さ)でなく、Rabcewiczの言うように1回の掘進の長さtに関係する他、切羽の高さにも関係する。切羽の高さは断面分割の方法、補助ベンチの有無により変わる。

※坑口付近のかぶりの非常に小さい場合についてもう1

行加える方がよいかもしれない。その場合、現在のように、坑口付近をすべてDIIIにするのではなく、AからEまで地山分類ごとに記述する。

※各欄の記述は切羽と覆工は別に記述すべきである。当然のことであるが、削孔速度、ロードヘッダー、TBMなどの掘削能率や火薬量は比応力 σ/QU に関係ない。

3-7 地山等級と支保、工事費の等級との区別

切羽の上と下、右と左で地質が違う混合地山、短距離で地質が変わる場合、湧水が多い場合の地山等級と工事費等級は直接結びつけるのではなく、現場の実状(施工設備など)を加味して判断する。

4. 切羽での対応

どんなによく調査を行っても地表から行った調査には限界がある。切羽で、岩盤等級の再検討・変更を行う場合と、等級は変わらなくとも支保や施工法、施工単価の変更を行う場合とがある。

4-1 目的の違い

事前の地質調査は路線選定や施工設備の設定、概算工事費の算定に主目的があり、切羽での等級分けは支保や覆工の決定、工事費精算が目的である。予測と実績が大幅に違えば施工設備の変更などの手戻りも生じる。地山等級の評価は科学的に行うべきであるが、工費の変更はその他に工事設備の変更、手戻りなどの要素も加味して行う必要がある。

4-2 岩盤等級の変更

調査ミスによるもの、特殊な岩質で標準の岩盤分類に乗らないもの、弾性波調査の性質にもとづくもの、流れ盤と受け盤(差し目)の差、いくら調査を綿密にやっても予知できない薄い挟み層や部分的な地層の変化は、掘削結果を見て修正する必要がある。互層、混合地層も同様である。

5. ま と め

地質学もトンネル工学も長足の進歩を遂げているが、お互いの共同歩調がそろっていない面が残っている。地山等級についてもお互いに別の概念に立ちながら、表面的な言葉だけを揃えているようである。本音での共通の概念、理論を確立しなければ、近代科学とはいえない。お互いにもっと根本的なことを議論し合う必要があるのではないかと考えて、一文を草した。各位のご意見を待ちたい。

なお、道路公団の設計要領は平成9年に改訂され、ここに引用したものと少し違っているが、本文の主旨を理解するには差しつかえないので修正しなかった。

参 考 文 献

- 1) 田中治雄: 岩盤分類が提案された頃の思い出, 応用地質特別号「岩盤分類」, 1983.8.
- 2) 菊地宏吉: 地質工学概論, 土木工学社, 1990.
- 3) 応用地質特別号「岩盤分類」, 1984.
- 4) 吉中龍之進・ほか編: 岩盤分類とその適用, 土木工学社, 1988.
- 5) K. Terzaghi: Introduction to Tunnel Geology included in "Rock Tunneling with Steel Supports by Proctor and White", 1946.
- 6) 土木学会編: トンネル標準示方書(山岳工法編), H8版.
- 7) 日本道路協会編: 道路トンネル技術基準(構造編).
- 8) 日本道路公団編: 設計要領 第3集 トンネル.
- 9) 日本鉄道建設公団編: NATM設計施工指針, H8.
- 10) トンネル施工積算研究会編: トンネルの施工と積算, (財)建設物価調査会, 1992.
- 11) K. Terzaghi: Theoretical Soil Mechanics, John Wiley & Sons, Inc., 1943.
- 12) 今田徹: トンネル支保構造物の設計思想, 土木学会論文集, 2001.3.
- 13) 有馬宏: トンネルを掘る話, 岩波書店, 1941.
- 14) F. Pacher, L. v. Rabcewicz, J. Golsner: Zum derzeitigen Stand der gebirgsklassifizierung im Stollen- und Tunnelbau. 1974.
- 15) 仲野良紀: 膨張性地山の实体, トンネルと地下, Vol.6, No.10, 1975.10.
- 16) 仲野良紀: 粘性土岩における押し出し性~膨張性トンネル地圧のメカニズムと実測例, 応用地質, 1974.3.
- 17) 後藤守・岡崎和彦・尾上誠一: 高強度吹付けコンクリートにより大土かぶりを克服, 一般国道194号寒風山トンネル, トンネルと地下, Vol.29, No.1, 1998.1.
- 18) 中田正夫・伊藤洋: 供用トンネルにおける変状と対策, 上信越自動車道 浅間山トンネル, トンネルと地下, Vol.31, No.4, 2000.4.
- 19) 平井公康・鈴木照行・秋月亨・八重樫栄: 供用中のNATMトンネルの盤ぶくれ, 一般県道宮古港線 小山田トンネル, トンネルと地下, Vol.26, No.12, 1995.12.
- 20) 池田和彦・大島洋志: わかりやすい土木地質学入門(改訂8版), 土木工学社, 1997.3.
- 21) 大島洋志監修: わかりやすい土木地質学, 土木工学社, 2000.11.
- 22) 福島啓一: 岩石・岩盤の挙動における時間効果, 第10回岩の力学国内シンポジウム講演論文集, 1998.
- 23) 村山朔郎: トンネル土圧, 土木学会, 第3回トンネル工学シンポジウム, 1966.
- 24) 吉田幸伸・小林光雄・北村俊紀・谷卓也: 小土かぶりトンネルにおける山はね現象とその対策, 広島高速4号線西風トンネル第3工区, トンネルと地下, Vol.32, No.5, 2001.5.

推進工法の理論と実際

B5判 437頁 定価(本体価格8,500円+税) 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。

〈主 要 目 次〉

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

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)

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

土木情報 No.346

今月の主な入札結果
(1月23日～2月12日)

事業主体	工事名	請負会社	請負額 単位 百万円
小樽開建	国道229号神恵内村ウエンクナイT	岩田・北野・協成JV	2,100
東北森林管理局	災害関連緊急工事蟹ヶ沢排水T	東亜・那須・山形JV	2,010
関東地整	雑色ポンプ所放流渠	東亜建設工業	1,030
近畿地整	大阪港夢洲T咲州側アプローチ部5	飛鳥・住友・日東JV	1,690
"	" " 6	熊谷・三井・国土開JV	1,980
中国地整	東広島・呉道田万里T	前田・若築JV	2,340
九州地整	宮崎10号三輪T	ハザマ	1,365
千葉県	印旛沼流下連絡幹線1302工区	ハザマ・東洋・小松JV	2,346.75
"	農道整備安房地区2号T51号	鴻池組	788
"	江戸川左岸流下308工区	森本・新興JV	965
都・水道局	杉並区上荻2～南荻窪1地先間配水本管	大成・伊藤JV	1,215
"	品川区東大井5-25～南品川15-14地先間配水本管	大旺建設	198
"	町田市小山町2215～八王子市大沢3送水T	清水・鉄建JV	1,158
都・下水道局	江東区東砂3付近再構築	森・南海JV	650
"	市谷幹線再構築	大日本土木	605
"	明石町再構築その4	日東大都工業	260
"	馬込東二号幹線その2	五洋・西松・白石JV	735
山梨県	桂川流下桂川1号シールド小沼工区	竹中土・アイサワ・長田JV	2,450
"	県道山中湖忍野富士吉田線忍野T	早野・秋山・タカムラJV	1,880
"	富士川西部広宮団農道甲西第2T	長田・国際・三枝JV	735
岐阜県	公共道改高木第2T	大日本・松野JV	1,280
"	公共緊急地方道B乙原T	大日本・西濃・西建JV	1,070
"	緊急地方道B宝泉坊T	土屋・小池JV	680
三重県	宮川流下宮川幹線第2工区	大林・山野・西邦JV	1,050
"	" " 第3工区	佐藤・日本・森JV	1,750
"	" 外宮幹線第2工区	大日本・宮本JV	865
"	中勢沿岸流下多気幹線9-2	徳倉・北野JV	300
滋賀県	琵琶湖流下湖南中部第2幹線十王工区	大林組	985
"	" 東北部長浜第2幹線戸工区	昭建	841
奈良県	竜田川幹線管渠2-2	ハザマ・三和JV	272
島根県	松江西部農道浜佐田T	不動・松江JV	970
"	斐伊川三代浄水場導水渠・ポンプ井	大豊・まるなかJV	410
山口県	県道岩国大竹線道改関戸T	鹿島・ミヤベ・時盛JV	2,920
"	国道490号道改中山T	若築・澤田JV	1,105
高知県	南国安芸地区農道三宝山T	大旺・西国・三谷JV	1,171.6
福岡県	遠賀川中流流下若宮宮田直方幹線11	奥村・為廣JV	850
沖縄県	県道9号線1号T	東開発・大城JV	715
千葉市	公下第1処理区第9・第11幹線3	ハザマ・尾頭JV	312
川崎市	渋川2号雨水幹線その1	三井・三菱・藤木JV	890
名古屋	六番町駅施設改良	ハザマ	188
"	落合雨水幹線	ハザマ・西松・銭高JV	2,188
"	大我雨水幹線	五洋・大本・淺沼JV	1,517
香芝市	上中BP雨水幹線	熊谷組	830
広島市	上瀬野地区下水道13-43	佐伯・ソルコムJV	625
"	龜山地区下水道13-1	竹中・福田・山陽JV	1,900
平戸市	早福漁港関連道整備	国土開・吉住JV	960

連載講座

吹付けコンクリート・ロックボルトに関するQ & A (21)

JTA支保幹事会

吹付けQ.53 吹付けモルタルの配合設計はどのようなものか教えてください。

A. ご承知のように、吹付けモルタルがトンネル施工で用いられることはほとんどなく、法面補強工事などに多く用いられてきました。ところが、近年、トンネル覆工補修やTBMにおける一次覆工として吹付けモルタルが利用されつつあります。これは、狭小な閉鎖空間における低粉塵・低リバウンドな吹付け施工が求められること、バッチャープラントを要さず現場練りが可能なことなどが主因ですが、トンネル覆工補修の場合は仕上がり形状を確保するために左官作業が求められる場合もあり、モルタル吹付けが適しているという側面もあるようです。

(1) 吹付けモルタル配合の概要

掘削法面の保護・補強工として、全面に広く吹付けモルタルを施工し、法面や地山の風化・劣化を防止したり、法枠とアンカーにより法面の崩落を防止する工法で、法枠部分を吹付けモルタルで施工する方法が多く用いられてきました。

吹付け機械は、多くの機種が用いられていますが、材料の練り混ぜ装置を備えた湿式機械がもっとも一般的に使用されていて、ホース径はノズルマンの作業性から細く、径は38～50mmのものが用いられ、施工能力も最大で3m³/h程度です。

このような、施工条件、吹付け機械およびホース径の関係から、貧配合モルタルのほうが施工が容易で、富配合になると、材料の吐出しが断続的になりやすく、閉塞も生じやすくなります。また、細骨材の品質、粒度によって適切な水セメント比が変動するので、所定の品質を確保するためには吹付けコンクリート以上に細骨材の品質確保、管理が重要となります。

具体的な配合としては、セメント/細骨材重量比が1:4、水セメント比55～60%前後で、コンシステンシーはスランプ0～2cmの硬練りの配合が標準的で、急結剤は一般には用いられません。

このように、吹付けモルタル配合設計においては、粗骨材がないために粘性が高くなり、圧送性を確保するため水セメント比が高くなることを除けば、基本的に吹付けコンクリート配合に準ずるといえます。ただし、つぎのような点を考慮すると、配合設計を考えるうえで便利かと思えます。

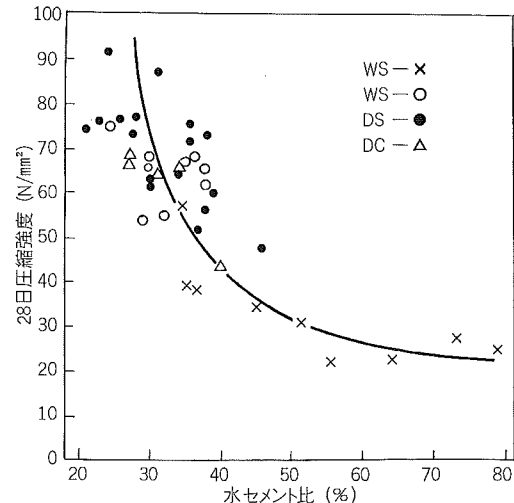
吹付けコンクリートの配合は、ノズルより吐出される吐出配合、吹付け面に付着した付着配合の2種類があります。目的とする構造物の品質を支配するのは付着配合ですが、実際の施工ではこの配合を管理するのは困難なため、不着配合との関係を考慮した吐出配合によって配合設計が行われることが一般的です。吹付けモルタルでは、この不着配合と吐出配合の関係が比較的明瞭であるとされています。もちろん、その支配因は材料、配合、施工機械、施工条件、施工方法など、多くの要因によって異なるのですが、S.G. Zynda¹⁾によるモルタル吹付け(乾式、湿式)のデータではC:S=1:3～1:6の吐出配合がC:S=1:2～1:4の付着配合になるとされています。

また、コンクリート配合においてもっとも重要な強度と水セメント比に関しては、A.Litvin & J.J. Shideler²⁾らが種々の吹付け機械を用いて、吹付けコンクリートとモルタルについて実施した図-1のような水セメント比と圧縮強度との関係があります。図からわかるように、吹付けモルタルの水セメント比はW/C=30～80%の範囲を取ることができですが、同一の水セメント比に対してはコンクリートよりも、若干、高い強度を示します。なお、これは急結剤を用いない場合の結果で、急結剤を用いた場合は材齢3日程度までは用いない場合よりも強度は大きくなりますが、7日以降は逆に小さくなり、材齢28日では、急結剤無混入のもの65～80%まで強度は低下するとされています。

(2) TBM一次覆工としての吹付けモルタル配合

吹付けモルタルはTBM一次覆工としてかなり古くから用いられてきましたが、バッチャープラントを構築することが経済性の面から難しいため、現場練りを前提と

したプレミックス配合が主流となっています。その概略の開発経緯を紐解けば、1980年代初頭では、低粉塵・低リバウンドを実現するためにセメントミルクが吹付け材として用いられていましたが、発熱に伴うひび割れ発生が問題とされていました。このため、1990年



(注) (1) PCA 研究所における試験値である。
 (2) 7.5cm 立方供試体強度である。
 (3) WS は湿式工法の吹付けモルタル
 WC は湿式工法の吹付けコンクリート
 DS は乾式工法の吹付けモルタル
 DC は乾式工法の吹付けコンクリート
 図-1 水-セメント比と圧縮強度の関係⁹⁾

表-1 代表的なプレミックスモルタル性能仕様

名称	サブショットシステム	ショットパッチ	モルショットシステム
会社名	デンカ	ポゾリス物産	小野田
使用材料	<ul style="list-style-type: none"> 特殊セメント系早強吹付けモルタル 急結材：アルミン酸塩系 22~44kg/m³ 繊維：ビニロン系 L=6mm 	<ul style="list-style-type: none"> 特殊セメント系早強吹付けモルタル 急結材：アルミン酸塩系 40~47kg/m³ 繊維：ビニロン系 L=5~7mm 	<ul style="list-style-type: none"> 特殊セメント系早強吹付けモルタル 急結材：アルミン酸塩系 41~62kg/m³ 繊維：ビニロン系 L=6mm
強度特性	$\sigma_{1hr} = 1.81\text{N/mm}^2$ $\sigma_1 = 18.3\text{ N/mm}^2$ $\sigma_7 = 32.9\text{ N/mm}^2$ $\sigma_{28} = 38.3\text{ N/mm}^2$	$\sigma_{1hr} = 0.94\text{N/mm}^2$ $\sigma_1 = 17.3\text{ N/mm}^2$ $\sigma_7 = 27.5\text{ N/mm}^2$ $\sigma_{28} = 39.3\text{ N/mm}^2$	$\sigma_{1hr} = 1.00\text{N/mm}^2$ $\sigma_1 = 25.0\text{ N/mm}^2$ $\sigma_7 = \text{—}$ $\sigma_{28} = 38.0\text{ N/mm}^2$
凝結(始発)時間	1~3分	1分	1分以内
粉塵	ほとんどなし	ほとんどなし	ほとんどなし
はね返り	ほとんどなし	ほとんどなし	ほとんどなし
吹付け距離	30~50cm	10~50cm	30~50cm
標準吹付け厚	20~50mm	20~50mm	20~50mm
操作性	容易	容易	容易

頃の電力関連 TBM で、プレミックスモルタル材、粒度調整砂、液状急結材、および高分子繊維をバッチで練り、吹付ける工法が開発されはじめ、1998年頃にそのシステムが一応の完成をみたとされています。これが現在の TBM 一次吹付けの主流となっていますが、これらに用いられるプレミックスモルタル配合は当然のことながら製造各社によって異なり、その詳細は明らかにされていません。今回、その配合について聞き取り調査を試みましたが、企業ノウハウに触れるためほとんどカタログ内容以上の情報は得られませんでした。ただし、C:S については吹付け面の仕上がりやリバウンド率の理由から、1:3 よりもかなり小さめであるとのことでした。

このような理由から、TBM 一次覆工としての吹付けモルタル推奨配合を挙げることは難しく、むしろある程度完成した吹付けシステムがそのまま適用できることから、現在普及しているプレミックスモルタルを使用することをお勧めいたします。現在市販されている、代表的なプレミックスモルタル性能仕様を表-1 に示します。

また、第二東名・名神高速道路トンネルで掘削される TBM は直径 5m と、これまでの日本の TBM 掘削径よりも一回り大きいので、吹付け量も必然的に増大し、これまでのバッチ練りでは各種の不都合が生じるため、ある程度の容量の練り混ぜが切羽で可能な連続練り混ぜ方式による吹付けモルタルシステムも開発されています。

(3) トンネル覆工補修における吹付けモルタル配合
 トンネル覆工の損傷・劣化の種類・規模、その程度、

および原因は千差万別で、補修材料・配合および補修の断面寸法も異なってくるようになります。吹付けモルタルで補修・補強する場合、水セメント比で30%程度の配合まで施工可能ですが、施工機械によってその限界がありますから、所要の配合が施工可能な機種を選定が重要となります。したがって、これまでの施工事例を参考に、材料・配合および施工機械を選定することをお勧めします。

以下にそのいくつかの事例を示します。また、最近では表-1 のプレミックス吹付けモルタルを補修工事に採用する事例も増えつつあるようです。

1) 伊豆急行稲取トンネル⁹⁾

1978年1月に発生した伊豆大島近海地震により、大損傷を被った

表-2 鋼繊維補強モルタルの示方配合

目標強度 σ_{ck} (N/mm ²)	スランプの範囲 (cm)	水セメント比 W/C (%)	セメント砂比 C:S	添加剤 (%)	単 位 量 (kg/m ³)				
					水 W	セメント C	砂 S	鋼繊維 SF	急結剤
29.4	12±2.5	57.0	1:2.86	3~4	285	500	1428	80	15.0~20.0

表-3 プラスチック繊維補強モルタルの示方配合

目標強度 σ_{ck} (N/mm ²)	スランプの範囲 (cm)	水セメント比 W/C (%)	セメント砂比 C/S	単 位 量 (kg/m ³)					
				水 W	セメント C	砂 S	AE 減水剤	プラスチック繊維 SF	急結剤
30.0	12±2.5	49.5	1:2.5	277	560	1400	11.2	6.6	28

伊豆急行稲取トンネルは、損傷程度に応じて各種工法が採用されましたが、鋼繊維混入吹付けモルタルが大々的に採用されました。旧覆工コンクリートの損傷程度に応じて、厚さ30~120mmの鋼繊維 80kg/m³ 混入の湿式吹付けモルタルが使用されました。示方配合は表-2 に示すとおりで、下地処理には、エアピックによるチッピングおよび高圧水による洗浄を行い、部分的にラス網および鉄筋で補強されています。

2) 寒河江ダム水ヶ瀬発電所導水路覆工コンクリート補修工事⁹⁾

昭和初期に建設された寒河江ダム水ヶ瀬発電所導水路は、経年変化により劣化が進行し、クラックなどの発生が著しい状態にありました。

平成元年、当該の導水路は閉塞されることとなりましたが、その一部を監査廊として使用するため劣化部の覆工補修が求められました。この補修方法として、早く確実に施工が行えるプラスチック繊維補強モルタルの吹付けが選ばれたのです。

補修にあたり、その必要吹付け厚さを求めるため、現況覆工のクラックを精査したところ、トンネル肩分にクラックが集中するものの、貫通クラックは存在せず、比較的浅いクラックばかりであることが明らかとなりました。このことから、トンネル肩部にクラックを発生させる作用外力を逆算し、これを用いて補修に必要なプラスチック繊維補強モルタル厚さを求めることとしました。その結果、プラスチック繊維補強モルタルの吹付け厚が10cmまでは既往覆工の応力分担を緩和するものの、10cmを超えると既往覆工と一体化するようで既設覆工応力とプラスチック繊維補強モルタル応力がほぼ一致することが明らかとなり、経済性を考慮して10cmをプラスチック繊維補強モルタルの吹付け厚にすることとなりました。

その配合を表-3 に示します。

(文責：山地宏志・三井建設(株))

参 考 文 献

- 1) Zynda, S. G.: Properties of Sand-Mixed Shotcrete, Shotcreting, ACI Publication SP-14
- 2) Litvin, A. and J.J. Shildeler: Laboratory study of shotcrete, ACI Publication SP-14
- 3) 小野田耕治・楠山豊治・佐藤博信: 伊豆急行稲取トンネル復旧工事, 土木施工, 1979.1
- 4) 酒入修・蓮尾孝一・樋口正典: 各種短繊維補強材を用いた吹付けコンクリートの研究, 三井建設技術研究所報, No.14, pp. 19-22, 1990.

吹付けQ.54 鉄道トンネルと道路トンネルで吹付けコンクリートの設計の考え方に違いがあるのでしょうか?

A. (1) 設計手法

わが国のトンネルの設計手法は標準設計、類似条件での設計、解析的手法に大別されます。鉄道トンネルや道路トンネルにおいても基本的な考え方は同じであり、大まかにはこの考え方にもとづいて設計が行われています^{1)~3)}(表-1, 2 参照)。

標準設計とは、事前調査結果から岩種と地山弾性波速度または地山強度比にもとづいて地山を評価して等級に分類し、その等級に対応させた基本的な支保パターンを作り、これを標準支保パターンとして設定するものです。この標準支保パターンは、各企業が過去の多くの施工実績の分析にもとづいて設定しています。標準設計は一般的な地山で採用されます。

類似条件での設計では、地質条件や地形条件が特殊な場合に類似条件で施工が行われた事例にもとづいて支保パターンを設定します。このときの類似事例としては同様の用途での事例を採用します。ただし、このような事例がない場合には用途の異なるトンネルの類似事例も参考にすることがあります。また、高速道路などの2期線工事では、1期線工事での施工実績にもとづいた設計が

表-1 設計手法の適用区分(鉄道)²⁾

設計手法	地山条件	設計条件
標準支保パターンによる設計	・一般地山(V _N , IV _N , III _N , II _N , I _N) ・特殊地山(I _S , I _L)	・一般的な条件 (標準的な断面)
類似条件による設計	・特殊地山(特S, 特L) ・一般地山で右欄の特殊条件の場合	・特殊条件 (大断面, 偏圧地形, 土かぶりがとくに大または小, 地表面沈下の制限など)
解析的手法による設計		

表-2 設計手法の適用(道路)³⁾

地山等級	設計条件	
	一般的条件	特殊条件
A	標準支保パターンの適用	類似例, 解析結果 施工条件などを考慮し個別に設計
B		
C		
D		
E		

表-3 鉄道トンネルの標準支保パターン²⁾

標準支保パターン	ロックボルト			吹付けコンクリート厚(cm)		鋼製支保工
	配置	長さ(m)×本数(本)	縦断間隔	アーチ・側壁	インバート	種類
IV _{NP}	—	—	—	5(平均)	—	—
III _{NP}	アーチ	2×0~6	(随意)	10(平均)	—	—
II _{NP}	アーチ	3×10	1.5	10(平均)	—	—
I _{NP}	アーチ・側壁	3×14	1.0	15(最小)	—	(125H)**
I _{SP}	アーチ・側壁	3×8 4×12*	1.0	15(最小)	15(最小)	150H
I _{LP}	アーチ・側壁	3×12	1.0	20(最小)	—	125H

(注) *4mのロックボルトはSL付近(アーチ脚部および側壁)に配置する。

**鋼製支保工を用いる場合は、()内の種類とする。

(その他) 標準支保パターンの分類記号は、地山等級と区別するためP(Pattern)のサフィックスをつけた。

表-4 道路トンネルの標準支保パターン³⁾

地山等級	支保パターン	標準掘進長(m)	ロックボルト			吹付けコンクリート厚さ(cm)	鋼アーチ支保工		覆工厚(cm)		変形余裕(cm)	掘削工法	
			長さ(m)	施工間隔(m)			施工範囲	上半サイズ	下半サイズ	アーチ・側壁			インバート
				周方向	延長方向								
B	B-a	2.0	3.0	1.5	2.0	上半120°	5	—	—	30	0	0	補助ベンチ付き全断面工法または上半工法
CI	CI-a	1.5	3.0	1.5	1.5	上半	10	—	—	30	(40)	0	
CII	CII-a	1.2	3.0	1.5	1.2	上下半	10	—	—	30	(40)	0	
	CII-b			1.5	1.2			H125	—				
DI	DI-a	1.0	3.0	1.2	1.0	上下半	15	H125	H125	30	45	0	
	DI-b	1.0	4.0										
DII	DII-a	1.0以下	4.0	1.2	1.0以下	上下半	20	H150	H150	30	50	10	

支保パターンのa, bの区分は、以下による。

a: 基本的すべての岩種に適用する標準支保パターン

b: 当初設計において、粘板岩, 黒色片岩, 泥岩, 頁岩, 凝灰岩などのうち、トンネル掘削に伴う変位が大きくなると予想される場合のみ適用する。

なお、インバートの()は、第三紀泥岩, 凝灰岩, 蛇紋岩などの粘性土岩や風化結晶片岩, 温泉余土などに適用する。

行われます。

解析的手法は、異常な土圧や変位量の発生が予想される特殊な地山や特殊断面の施工となる場合などに採用されます。

通常、類似条件で設計を行う場合には、解析的手法を併用して支保工を含めたトンネルの安定性を確認します。また、解析的手法を用いて設計を行う場合には、基本となる支保パターンを類似条件あるいは標準設計から設定

表-5 弾性波速度に基づく岩盤分類の比較表⁴⁾

分類方式	建設省・日本道路公団					JR・鉄道建設公団				農林省*				水資源公団*	本四公団	電研			
	a	b	c	d ₁	d ₂	A, B	C	D	E	α	β	γ	δ		花崗岩	鬼状岩盤			
弾性波速度 V _P (km/s)	5.0	A	A	A	C _{1-II}	V _N	V _N	V _N		A	A	A	A	A	A, B	A, B	5.0		
	4.0	B	B	B		IV _N	IV _N	IV _N		B	A	B	B	B	C _H	A, B		4.0	
		3.0	C _{1-I}	C _{1-II}		C _{1-III}	III _N	III _N	IV _N		B	B	B	B	B	C _M			C _H
	2.0	D _I	D _I	D _I		C _{1-IV}	II _N	II _N	III _N		C	B	C	C	C	C _L		C _M	2.0
	1.0	D _{II}	D _{II}	D _{II}		D _I	I _N	I _N	II _N	III _N II _N	D	C	C	C	D	D		C _L , D	
岩種	a: 変成岩 深成岩(斑れい岩, かんらん岩) b: 古成岩および中生層 c: 火山岩 脈岩 深成岩(花崗岩, 閃緑岩) d: 第三紀層および下部洪積層 d ₁ : qu ≥ 200kgf/cm ² d ₂ : qu < 200kgf/cm ² e: 上部洪積層					A: 古成層・中生層・深成岩 半深成岩・火山岩・変成岩 B: 剝離性の著しい変成岩 C: 古生層・火山岩 古第三紀層の一部 D: 古第三紀層~新第三紀層 E: 新第三紀層 F: 洪積層・新第三紀層の一部 G: 表土・崩積土など				α: 古生層・中生層・深成岩・半深成岩 火山岩・変成岩 β: 剝離の著しい変成岩 細層離の発達した古生層・中生層 火山岩 古第三紀層の一部 γ: 古第三紀層~新第三紀層 δ: 新第三紀層~洪積層 洪積層~沖積層 表土・崩壊土						*内空幅5m以下のトンネル対象			
岩種分類																			

します。

設計手法の中で基本となるのが標準設計であり、ほとんどのトンネルにおいて採用されています。鉄道トンネルと道路トンネルの代表的な標準支保パターンをそれぞれ表-3, 4に示します。鉄道トンネルと道路トンネルでは断面形状が異なることから、前述のように各企業が実績を踏まえて標準支保パターンを設定しています。ただし、設定している吹付け厚は5~20cmの範囲にあり、地山条件が悪くなれば吹付け厚を厚くするという考え方になっています。また、鉄道トンネルと道路トンネルの地山分類を弾性波速度にもとづいて比較したものを表-5に示します。表-5から、鉄道トンネルの地山等級と道路トンネルの地山等級がある程度対応していることがわかります。さらに、図-1, 2に示すように断面的にはほぼ同様の新幹線複線トンネルと2車線道路トンネルの支保パターンを表-3, 4から比較すると、対応する地山等級における吹付け厚もほぼ同等になっていることがわかります。

なお、実際の施工では、観察・計測により地山状況を適切に把握して、同じ地山等級においても事前設計を変更してより適切な支保パターンを設定して施工します。このように支保をより適切に変更しながら施工していくこ

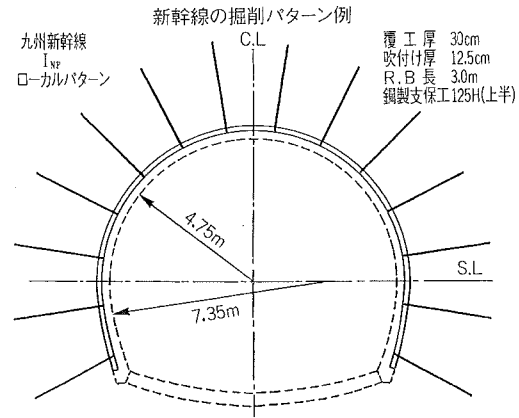


図-1 新幹線複線トンネルの支保パターン例(I_{NP})

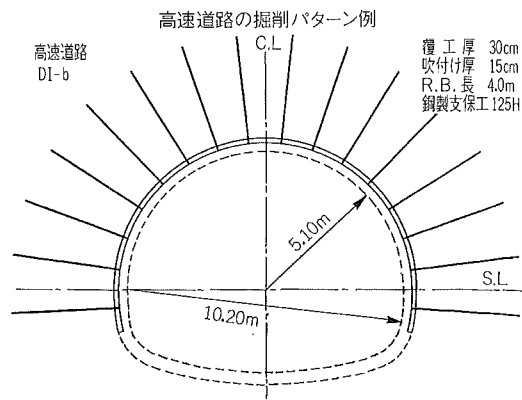


図-2 2車線道路トンネルの支保パターン例(DI-b)

とが現在の山岳トンネル工法の標準工法である NATM の大きな特徴でもあります。

(2) 出来形管理の仕方

標準支保パターンに示されている吹付け厚には、全断面にわたって設計吹付け厚以上でなければならないとする「最小吹付け厚」の考え方で、断面内の平均厚が設計厚以上であれば部分的に設計厚に満たない箇所があってもよいとする「平均吹付け厚」の考え方があります。中硬岩・硬岩地山で発破による場合には、掘削面の凹凸が大きくなる場合があり、最小吹付け厚にすると吹付けコンクリートの余吹き量が必要以上に大きくなります。ま

た、土圧が大きい場合などでは、平均吹付け厚とする吹付け厚が小さい部分が生じ、応力集中が生じやすいなどの問題があります。鉄道トンネルでは、原則として最小厚としながらも、硬岩地山などにおいて発破掘削による場合には最小厚とすることが合理的ではないため、平均厚としてもよい(ただし、設計厚の70%は最低確保する)とのことで、地山等級Ⅱ_N～Ⅴ_Nについて平均厚としています²⁾。一方、道路トンネルでは、原則として最小吹付け厚とするが、掘削面の凹凸が大きい地山で設計厚が小さい場合には、吹付けコンクリートに変状が認められない限り、部分的な設計厚の不足を許すとしています³⁾。

(3) 圧縮強度

吹付けコンクリートの設計基準強度としては、鉄道トンネル、道路トンネルとも 18MPa が採用されています。ただし、最近道路トンネルにおいて、鉄道トンネルにはない偏平大断面のトンネルが施工されるようになってきました。偏平大断面トンネルでは通常より大きな曲げ強度やせん断強度が必要になると考えられます。このため、通常と同程度の吹付け厚であれば曲げ強度やせん断強度を高める必要があり、高強度吹付けコンクリートや繊維補強吹付けコンクリートが用いられます。たとえば、第二東名・名神高速道路では、高強度吹付けコンクリートが採用され、初期および長期の強度を向上させるために、設計基準強度を材齢 1 日で 10MPa、材齢 28 日で 36MPa としています。また、繊維補強吹付けコンクリートも採用されています。偏平大断面トンネルに対する吹付けコンクリートについては、「吹付け Q. 9」(2000年 9月)を参照してください。なお、標準支保パターンにおけるロックボルトの考え方については「ロック Q. 16」(2001年 4月)に記述されていますので、参考してください。

(文責：篠川俊夫・佐藤工業(株))

参考文献

- 1) 土木学会：トンネル標準示方書 [山岳工法編]・同解説，1996。
- 2) 日本鉄道建設公団：NATM 設計施工指針，1996。
- 3) 日本道路公団：設計要領第三集トンネル，1997。
- 4) ジェオフロンテ研究会：山岳トンネルの新技術，土木工学社，1991。

連載講座

大深度地下利用(最終回)

大深度地下利用に関する技術開発ビジョン

船本浩二*

はじめに

平成13年 4月 1日に「大深度地下の公共的使用に関する特別措置法」(以下、「大深度法」)が施行されたことにより、大深度地下利用は新たな事業実施の段階に入った。都市再生や都市機能の強化などの目的に対して、空間利用に関する新たな選択肢が加わったことになる。今後、大深度地下利用の利点を活かした地下事業が計画・実施されていくことが期待されるが、大深度地下の特性や大深度地下使用制度の特徴を踏まえた適正かつ計画的な地下利用が望まれる。

本講座は、今後、大深度地下を使用する事業に携わる技術者への情報提供を目的として、大深度地下使用制度の概要と制度の円滑な運用のための環境整備に関する国の取り組み、民間における地下活用プロジェクト構想等について、昨年 9月号より連載してきた。当初 6回の予定で始めた講座であったが、途中テーマの調整により合計 8回での連載となった。第 1回では、大深度法の概要および環境整備に向けた国の取り組みの概要について解説した。第 2,3回では、大深度地下施設に求められる耐力を定めた技術指針の考え方、計画的な大深度地下利用を目的とした施設配置や利用調整の考え方について解説を行った。第 4回では、大深度地下施設を計画するうえで必要となる地下情報の現状および今後の整備のあり方について解説した。第 5~7回では、民間団体による都市再生のための大深度地下利用構想について紹介を行った。最終回となる本稿では、地下利用の課題を踏まえ、今後、大深度地下をより快適かつ合理的に利用するために必要と考えられる技術開発の方向性について解説する。なお、本テーマについては国土交通省において、「大深度地下利用に関する技術開発ビジョン検討委員会」(委員長：黒川洸・東京工業大学名誉教授)を設置し、平成12年度から検討を行ってきているもので、平成13年度末に

*国土交通省都市・地域整備局企画課大深度地下利用企画室

表-1 連載講座：大深度地下利用の構成

回	テーマ(文責)
1	大深度地下の公共的使用に関する特別措置法(国土交通省)
2	大深度地下使用技術指針((財)先端建設技術センター)
3	大深度地下に関する利用調整((財)国土技術研究センター)
4	大深度地下利用に関する情報整備((財)日本建設情報総合センター)
5	大深度地下利用構想-その1-(社)日本プロジェクト産業協議会)
6	大深度地下利用構想-その2-(財)エンジニアリング振興協会地下開発利用研究センター)
7	大深度地下利用構想-その3-(都市地下空間活用研究会)
8	大深度地下利用に関する技術開発ビジョン(国土交通省)

とりまとめを予定している。原稿の執筆時期との関係上、本稿では、最終的報告ではなく中間的な報告となることをご容赦いただきたい。最終報告については、別の機会に、改めて紹介することとさせていただきます。

本講座における各テーマを表-1に示す。各講座の詳細については、掲載されたそれぞれの講座を参照されたい。

1. 地下利用の現状と課題

大都市圏では、都市化の進展に伴いこれを支える都市基盤施設の収容空間として地下が様々な利用されており、その利用深度は着実に増加している(図-1参照)。

とくに、道路等の公共用地の地下については、地下埋設物が相当に輻輳した状態にある。また、地下利用のマスタープランを持たずに整備が進められてきたため、地下での交錯をさけるため順に浅い地下から深い地下へと利用されてきた結果、今日においては既に50m近い深さの部分まで利用が進展しており、整備コストの上昇や、地上アクセスに関する不便性が問題となっている。

一方、民有地の地下は比較的未利用であり、地下利用

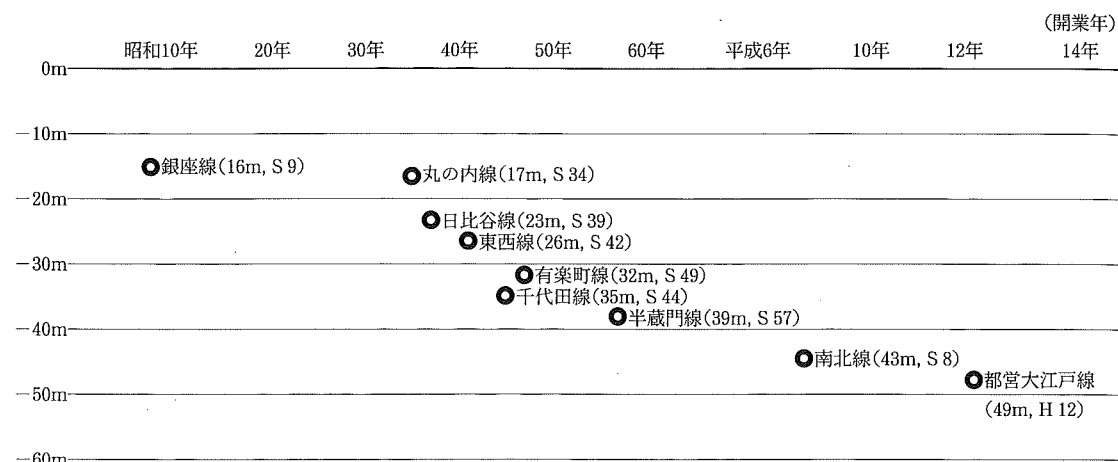


図-1 東京の地下鉄におけるトンネル部の最大深度の推移

ニーズの高まりに応じた合理的な基盤整備を考えるうえでは、アンバランスな地下利用状況になっている。

また、地下鉄銀座線の開業から60年以上、首都高速の開業から30年以上を経過し、既存施設の機能更新、再整備のニーズも、今後高まってくるのが想定される。

2. 大深度地下利用の今日的意義

今後の都市基盤整備における大きな課題として、①地下利用ニーズの増大と公共空間への集中に伴う弊害の改善、②既存都市基盤の機能更新、再整備ニーズへの計画的な対応の必要性が考えられる。

このような課題に対応するため、大深度法が整備されたところであり、大深度地下使用制度の確立とその活用によって、以下の効果が期待できる。

- 一定の条件下で民有地の地下の利用が可能となり、地下施設のルート選定の自由度が増し、効率的な社会資本整備が可能となるとともに、整備効率の向上による事業効果の早期発現などが期待される。
- 大深度地下利用における権利調整のルールが定まり、新たな社会資本整備がスムーズに進むものと期待される。
- 大深度地下空間の特性を活かした適切・合理的な基盤施設整備が進むものと期待される。

このように、今後の社会資本整備にあたっては大深度地下空間を有効に利用することが重要と考えられる。

3. 都市再生において地下空間利用が果たす役割

大都市圏の国際的な魅力と競争力を高め、経済の牽引役とするため、大都市圏における都市再生を目的とした取り組みが行われている。

都市再生本部(本部長：内閣総理大臣、平成13年5月

設置)においては、

- 東京臨海部における基幹的広域防災拠点の整備
- 大都市圏におけるゴミゼロ型都市への再構築
- 中央官庁施設のPFIによる整備
- 大都市圏における空港の機能強化と空港アクセスの利便性向上
- 大都市圏における国際港湾の機能強化
- 大都市圏における環状道路体系の整備
- 大阪圏におけるライフサイエンスの国際拠点形成
- 都市部における保育所待機児童の解消
- PFI手法の一層の展開
- 密集市街地の緊急整備
- 都市における既存ストックの活用
- 都市圏における都市環境インフラの活用)

などの都市再生プロジェクトが決定され、具体的な個別プロジェクトの早急な整備が進められようとしている。

都市再生において地下空間利用が果たす役割として、都市再生推進懇談会の提言に示された都市再生の取り組みの方向性に照らし合わせて地下空間利用の可能性を整理すると、以下のような地下空間利用が考えられる。

- 土地の高度利用・複合利用の推進
 - 地下交通ネットワークや地下空間を利用した交通結節機能の強化、都市機能の集積
- 個性豊かな魅力ある拠点の形成
 - 地上施設の地下収用によるオープンスペースの増強、都市景観の修復
- 安全性・防災性の向上
 - 地下を利用したライフラインの確保、河川・防災施設などの整備
- 都市基盤の整備改善
 - 地下空間を活用した交通施設整備による都市交通

の円滑化、上・下水道・エネルギー幹線などのライフラインネットワークの整備、地下物流ネットワークの形成

- 広域的な交通基盤の整備
 - 地下を利用した広域基幹線道路、鉄道等の整備
- 情報ネットワークの充実と活用
 - 地下空間における情報通信施設の整備
- 環境インフラストラクチャーの整備
 - 地下空間を活用した水路整備等による地上部の緑地・水辺環境の再生、廃棄物処理施設等の整備
- 美しく文化的でゆとりある都市づくり
 - 施設更新と併せた地上施設の地下化による良好な地上都市環境の形成

このように都市再生に向けて地下空間は、多方面での活用が可能と考えられる。とくに都市部では、利用可能な地上空間の確保が困難であり、大規模な基盤整備において、大深度地下利用が、都市再生を推進するうえで有効なツールとなる可能性が大きい。地下空間利用にあたっては、単に良質な社会資本の効率的・効果的整備という観点だけではなく、地下を活用して地上の都市空間を再生させるといった観点も重要になってくると考えられる。

4. 大深度地下利用における技術的課題

このように大深度地下利用のニーズは、今後より高まってくるものと考えられ、より深く、より長く、かつ大規模な地下空間の実現に向けて、大深度地下利用特有の課題を克服する努力が必要と考えられる。一方、現状でもかなり深い地下空間の利用が行われており、深い地下を利用する場合の課題が挙げられている。

大深度地下は、現状の地下利用空間にも増して深く、未利用な地下空間であることから、施設の維持管理・更新の困難さや周辺環境への影響の把握、地上アクセスや

建設コストなど大深度地下特有のネガティブな要素への対応、多様な空間ニーズに対する空間構築技術など解決すべき課題は多い。大深度地下利用にあたっての技術的課題を整理すると表-2に示すものが考えられる。

5. 技術開発ビジョンの検討

以上に示したように、都市再生に向け大深度地下利用への期待が高い一方、施設の維持管理・更新が難しいなど、大深度地下であるがゆえにその利用にあたって検討、解決すべき技術的課題も多い。このため、大深度地下利用に関する今後の技術開発の方向性を示すことを目的として、技術開発ビジョンを作成する。

5-1 検討の基本方針

民間企業等における今後の研究開発の促進を目的として、事業横断的に活用され得る汎用性の高い技術を中心に、大深度地下利用に関する技術開発ビジョンを作成し、今後の技術開発のあり方を示す。

検討にあたっては、大深度地下に相当する深さまたはそれに近い深度での地下利用の現状を踏まえるとともに、第5~7回の講座で紹介したような今後の大深度地下利用の可能性なども踏まえ、都市再生への利用ニーズが高いと考えられる線的(トンネル系)幹線施設ならびにこれらと地上との連絡施設を中心に、技術開発テーマの抽出等を行った。

開発期間としては、おおむね10年程度で開発が達成し、実際の施設へフィードバックが可能となることを目標に、技術開発項目の検討を行った。

5-2 技術開発テーマ

技術開発テーマを抽出するにあたっては、大深度地下利用のあり方として、①より良く・安全に使うための技術、②環境に配慮してよりよく作るための技術、③経済性など大深度地下利用を適切に評価するための技術、を

表-2 大深度地下空間の利用課題

大深度地下利用の特徴	利用空間諸元	浅・中深度利用と比較した大深度利用の課題	既往技術での主な対応困難性	既往地下利用程度
深い未利用空間	40~100m	<ul style="list-style-type: none"> • 維持管理、施設更新が難しい • 土圧、水圧が高い • 強固な地盤の掘削が必要 • 地上避難、移動が困難 • 地上から作り難い • 地下水環境への影響が大きい。 • 建設・利用コストが相対的に高い 	<ul style="list-style-type: none"> • 大深度に対応する設計法未開発。 • 環境アセスメント手法が未発達 • 大深度での地盤評価、水制御のための計測実績等がない • 大容量、高速な垂直輸送システムが未開発 • 地下構造物の耐久性の定義未確定で、実績も不十分 	~50m
長距離、連続的な利用	数キロ~数十キロ	<ul style="list-style-type: none"> • トンネル延長長い。 • 地上との連絡点が限定される。 • 水平方向への避難も困難 	<ul style="list-style-type: none"> • 高速度掘削、トンネルの分岐・断面変更が必要 • 土砂搬出、資材搬入効率の大幅向上が必要 	数キロ程度
まとまった大規模空間利用	100~500万m ³	<ul style="list-style-type: none"> • 深く、大規模な空間利用ニーズが想定される。 	<ul style="list-style-type: none"> • 既往技術での対応可能であるが、コスト低減、効率向上が必要 	地下街で30万m ³ 程度

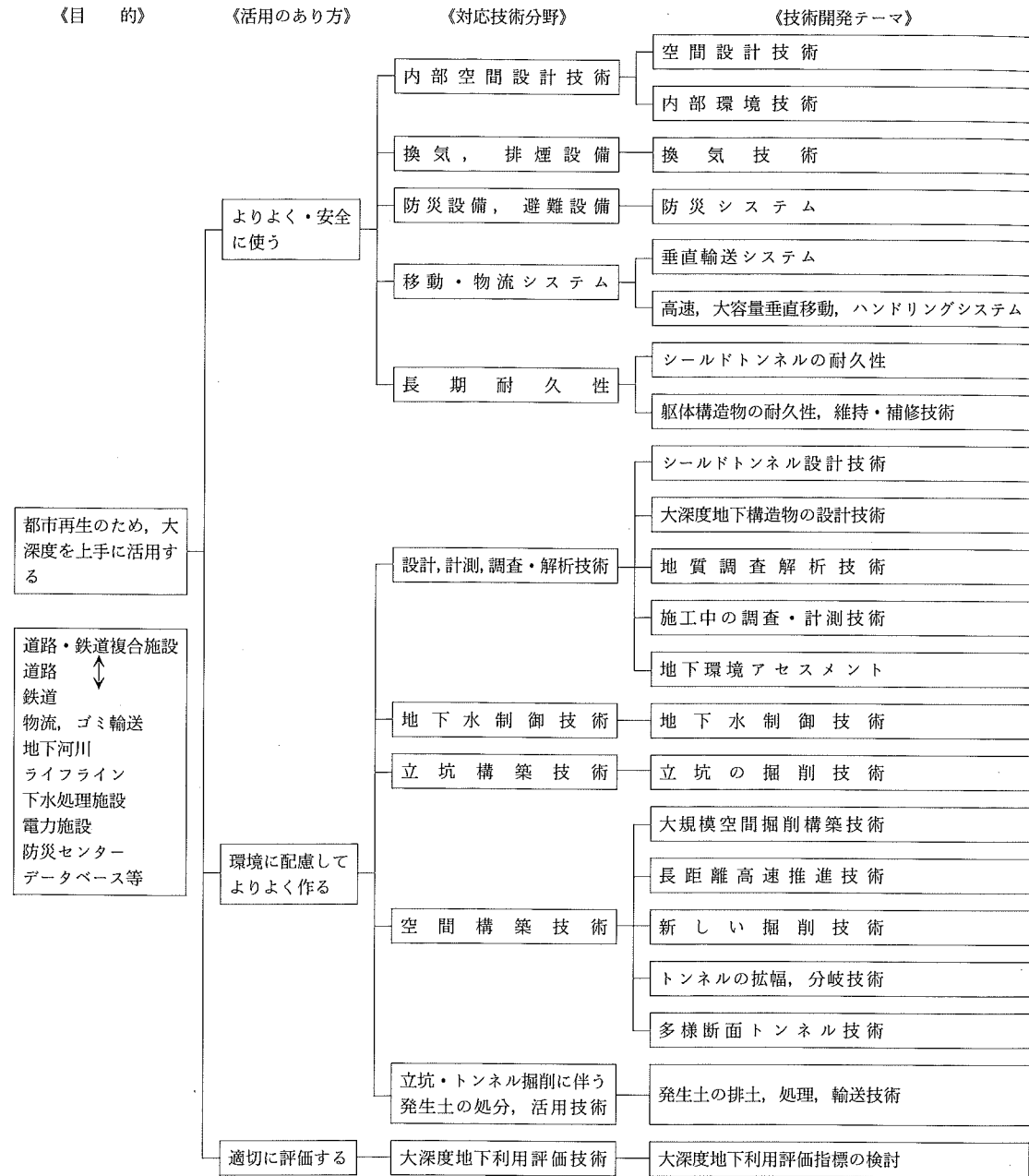


図-2 技術開発テーマ

柱として考え、これらに対応する技術分野を抽出し、その中から技術開発が重要と考えられるテーマを整理した。利用する深度：地下40mからおおむね100mまで

5-3 技術開発項目

抽出した各技術開発テーマについて、今後の大深度地下利用に対する技術開発の課題について検討を行った。検討にあたっては、基本条件として、以下の条件を考慮

設置する施設：外径15m程度のトンネル(シールドトンネルを基本とするが、テーマによっては他の工法についても検討する)

施設の利用目的：大深度法の対象事業(道路, 河川, 鉄道, 電気, ガス, 上・下水道など)

利用する地盤の土質：支持層以下の土丹層または砂礫層

上記条件を踏まえ、各テーマについて、開発目標の設定を行い、具体的な技術開発項目の検討を現在行っているところである。

具体的な技術開発項目としては、①地上への高速アクセスを目的としたリニア垂直輸送システムや急傾斜エスカレーター、②大深度地下特定に必要な支持層の深さや広がり精度を良くかつ効率的に把握するための浅層反射法やトモグラフィなどの地盤調査手法、③多様な地下空間ニーズに対応するためのシールドトンネルの拡幅・分岐・多様断面構築工法、④地上とのアクセス部にもなる立坑の合理的な設計および施工法、⑤大深度地下使用事業の事業効果の適切な評価手法、などについて検討を行っている。

これら検討結果をとりまとめるとともに、主要な技術

開発項目と今後の大深度地下利用について整理を行い、「大深度地下利用の技術開発ビジョン」を今年度末に取りまとめる予定である。

おわりに

8回にわたる連載講座により、大深度地下使用制度の概要、これまで行ってきた大深度地下利用に関する検討の内容、地下利用の今後の可能性などについて紹介を行ってきた。

大深度地下は、空間の高度利用が進む都市内に残された貴重な空間であり、適正かつ計画的な利用が期待される。大深度地下使用制度は、大深度地下の特性を考慮し、社会資本の整備を円滑に進めることを目的として整備されたもので、都市再生の推進などにおいて有効なツールとなり得るものである。一方、これまであまり利用されていない空間であるが故に、大深度地下をより有効に利用するためには、解決しなければならない技術的課題も数多く残されている。本講座により、技術者の大深度地下利用に対する理解が深まれば幸いである。

【新刊図書】

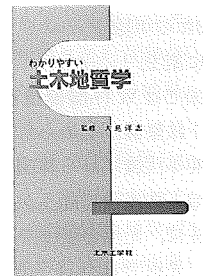
わかりやすい土木地質学

大島洋志 監修 B5判 209頁 本体価格2,500円(税別) 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。

〔主要目次〕

- 序編 トンネルと地質の関わり
- 第I編 トンネル工事に必要となる基礎的地質学
- 第II編 トンネル工事と地質条件
- 第III編 地質調査法
- 第IV編 工事を対象とした地質調査の進め方



株式会社 土木工学社

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

トンネル ジャーナル

TUNNEL JOURNAL · TUNNEL JOURNAL · TUNNEL JOURNAL · TUNNEL JOURNAL · TUNNEL

末吉財部～国分間開通

日本道路公団が建設を進めてきた東九州自動車道の末吉財部 IC から国分 IC 間延長 22.5km が 3 月 2 日開通した。区間概要は、土工延長約 16.7km(約 74%)、トンネル延長約 1.6km(約 7%)、橋梁延長約 4.2km(約 19%)の暫定 2 車線。両 IC で国道 10 号と接続する。

同道は、北九州市を起点に大分および宮崎県の各主要都市を経由して鹿児島市に至る延長約 436km の高速自動車道。今回開通区間を加えると計 81.4km で全体の約 19% が開通することになる。

釜山で地下鉄シールド貫通

横浜市に本社を置く京浜開発工業が韓国第 2 の都市、釜山で建設を進めている地下鉄 2 号線のシールドトンネルが 2 月 4 日貫通した。外径 7.2m、掘削延長 800m という本格的なシールド工の貫通は、開削が主流の同国では初めて。工事は片側約 420m の単線シールド 2 本を河川直下に施工。

韓国では W 杯開催を目前に各地で地下鉄整備が進められている。同社は 90 年代後半から韓国市場に進出。00 年地下鉄建設に伴うシールド工の受注に、光州と釜山で相次ぎ成功した。光州では外径 7.3m、総延長約 1,800m 区間を泥土圧式シールドで施工中である。

粉じん対策で指針作成

建設業労働災害防止協会(建災防、銭高一善会長)は、厚生労働省の「ずい道等建設工事における粉じん対策に関するガイドライン」を踏まえた換気設計の基本的な考え方などを示した粉じん対策の新指針を作成した。

新指針は、ガイドラインの公表(00年12月)を受け、見直しを進めていたもの。「ずい道工事等における換気技術指針」と「地下鉄工事における粉じん測定の指針」を一体化したうえで、最新の換気技術や粉じん対策を盛り込んだ。

関越道嵐山地区で函体貫通

日本道路公団さいたま工事事務所が建設を進めている関越自動車道嵐山地区の路面下で築造していた函体が、2月20日貫通した。場所は、東松山 IC～花園 IC 間に建設を進めているアクセス道路(熊谷小川秩父線)との交差部に延長 46m の函体をフロントジャッキング工法で施工した。工事は、パイプルーフを盛り土内に圧入、立坑で製作した函体をジャッキでけん引して高速道路盛り土内に推進させる手順で行われた。

23項目で開発の方向性示す

国土交通省の「大深度地下利用に関する技術開発ビジョン検討委員会」(委員長・黒川洸東工大名誉教授)は 2 月 27 日、第 7 回会合を開き大深度地下利用を進めるうえで必要となる技術開発の現状や今後のあり方などを示した報告書(案)をまとめた。

取り上げた技術は空間設計やトンネル構築など 23 項目。大深度地下利用を実現するために不可欠な要素技術の具体例を挙げ、開発の方向性を明示している。また、個別の技術開発と並行して検討すべき課題に「大深度地下利用に関するデータベースの構築と活用」や「開発した技術の実プロジェクトへの部分適用」などを提示。官民が役割を分担して推進に努めるよう求めている。

春日井共同溝シールド発進

中部地方整備局が建設を進めてい

る 19 号春日井共同溝のシールドが 3 月 2 日発進した。

工事は、愛知県春日井市大泉寺町～勝川町間約 6,820m を 1 台のシールドで掘進するもので、わが国最大規模の長距離シールド工事となる。

同共同溝は、中部電力と NTT のケーブルを収容。楠・味美共同溝と接続して名古屋市と春日井市を結ぶライフラインのネットワークを構成する。シールドは径 4,800mm の泥土圧式。セグメント外径 4,650mm、仕上がり内径 4,200mm。今回施工するのは、大泉寺町～瑞穂通 5 丁目の大泉寺工事(延長約 3,420m)で、工期は 04 年 3 月。共同溝全体の完成は、08 年度になるという。

峰山トンネルが起工

日本鉄道建設公団北陸新幹線建設局が進めている北陸新幹線の峰山トンネルが 3 月 3 日起工した。

同トンネルは、新潟県能生町から名立町まで標高 600m 程度の山岳部を貫く総延長 7,090m のトンネル。糸魚川・静岡構造線に近く、ほぼ同ルートの北陸本線・頸城トンネル工事では、石油ガスの発生や脆弱な地質で難航した記録が残っている。

施工は名立側の東工区(延長 3,300m)では、全長 10.5m、総重量 120t の山岳トンネル用に開発した自由断面掘削機を投入する。径 1,120mm のカッタヘッドを搭載、掘進を左右するカッタ電動機能力は国内最大。掘削時の粉じん対策のため高圧ウォータージェット散水方式を装備する。工事は、170m の斜坑掘削から着手する。能生町側の西工区(3,790m)では、高崎起点 197.78km 地点に 390m の横坑を取り付け、本坑掘削を展開。ショートベンチ併用の全断面掘削を計画、仮設ヤードを整備し、早期の本格着工を目指す。



(社)日本トンネル技術協会 研究開発委員会

岩盤の変形係数—原位置試験と間接的算定法との比較 / The deformation modulus of rock masses—comparisons between in situ tests and indirect estimates

Arild Palmström, Rajbal Singh: Tunneling and Underground Space Technology, Vol. 16, No. 2, pp.115-131, 2001

岩盤の変形係数は、とくに地下掘削時の挙動を表す際にもっとも重要なパラメータであるが、それを求める原位置試験は時間と費用がかかるうえに技術的にも難しいので、しばしば岩盤分類にもとづく間接的な算定法が用いられている。本論文の目的は、原位置試験の概要を示し、間接的な算定法を照査することにある。なお、ほと

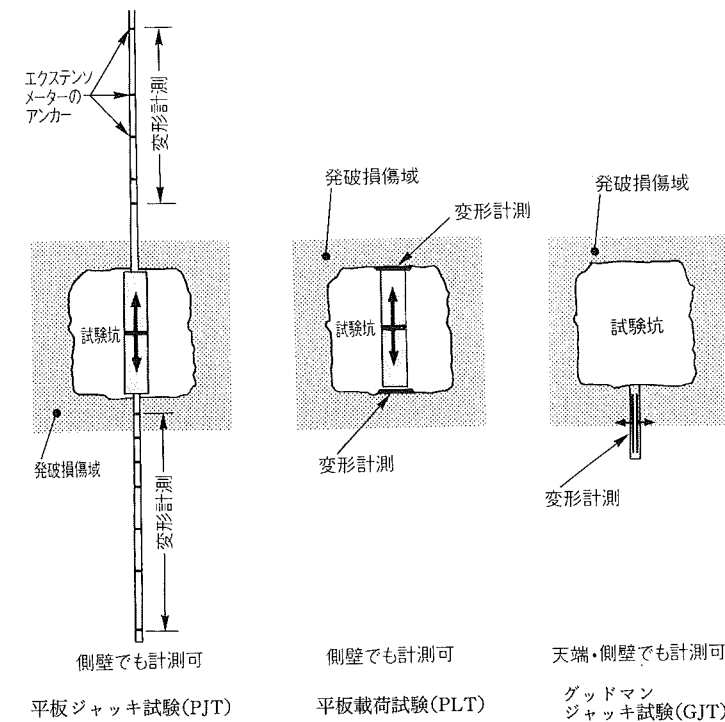


図-1 原位置変形試験における 3 つの代表的な方法

んどの試験は CSMRS(Central Soil and Materials Research Station)がインド、ブータン、ネパールで行ったものである。過去の経験から、原位置試験の結果は相当ばらつくことがわかっている。これは岩盤の亀裂などの影響、応力状態、試験装置、試験技術などによるもので、変形係数の設定には工学的判断が必要で、他の方法によるクロスチェックが必要とされている。

変形係数を求める原位置試験として、よく用いられる次の 3 タイプ(図-1 参照)を比較検討した(ここでの岩盤の変形係数(Em)は割線弾性係数を意味している)。

- ・平板ジャッキ試験(PJT: Plate jacking test)
- ・平板載荷試験(PLT: Plate loading test)
- ・グッドマンジャッキ試験(GJT: Goodman jack test(Radial jacking test))

また、間接的な算定法として、次の 3 手法を比較検討した。

- ・RMRからの推定式
 $Em = 2 \cdot RMR - 100 (RMR > 50)$ Bieniawski, 1978
 $Em = 10^{(RMR - 10)/40} (RMR < 50)$

Serafim and Pereira, 1983

- ・Q値からの推定式
 $Em = 25 \cdot \log_{10} Q (Q > 1)$ Grimstad and Barton, 1993
- ・RMIからの推定式

$Em = 5.6 \cdot RMI^{0.375} (RMI > 0.1)$ Palmström, 1995

まず、発破による試験坑壁面の損傷による試験結果への影響を評価するため、発破で掘削された試験坑(blast)と、トンネル外周部をラインドリリングにより縁切して内部を掘削された試験坑(bore)とで、PJTが行われた。その結果、求められた変形係数で、

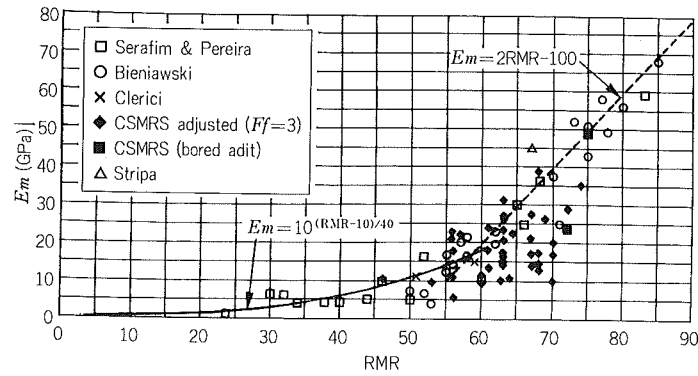
変形係数(bore)/変形係数(blast) = 5.4~9.6

と開きがあった。CSMRS は発破で掘削された試験坑(blast)の試験結果に対して、トンネル外周部をラインドリリングによる縁切りして内部を掘削された試験坑(bore)の試験結果と RMR による間接的評価の結果から、補正係数を $Ff = 3$ とした(図-2 参照)。

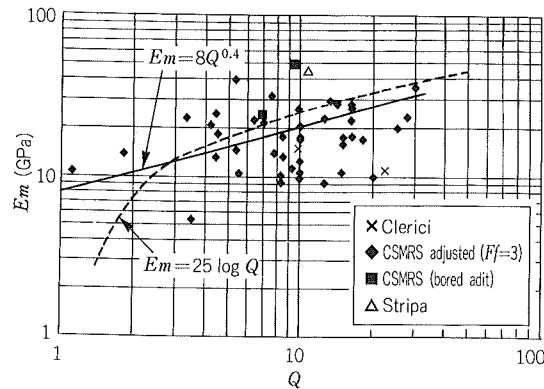
次に原位置試験方法について、CSMRS による結果や他の研究成果も合わせて整理すると、以下のような関係が得られる。

$PJT/PLT = 2.5$

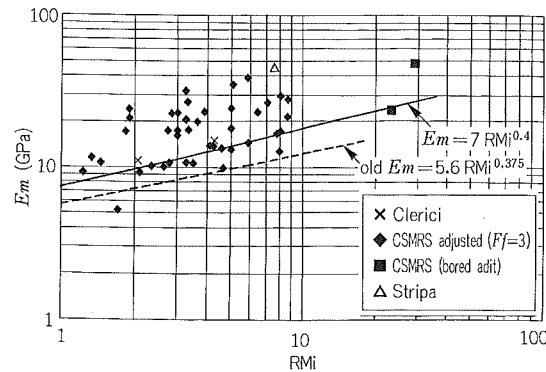
$PJT/GJT = 2.5$



CSMRSの発破坑での結果は補正係数 $Ff=3$ が適用された。
図-2 RMRと変形係数(E_m)の関係



CSMRSの発破坑での結果は補正係数 $Ff=3$ が適用された。
図-3 Q値と変形係数(E_m)の関係



CSMRSの発破坑での結果は補正係数 $Ff=3$ が適用された。
図-4 RMIと変形係数(E_m)の関係

これは、PJTが発破による破損領域から不攪乱領域までの区間での計測に対して、PLTの計測は岩盤表面で発破による損傷領域内であること、GJTの計測は掘径に際して載荷板の変形が加わることも一因と考えられる。

CSMRSが実施した42サイトでの原位置試験結果とサイト観察記録やボーリングコアや室内試験結果を用いて

計算された Q 値、 RMR 、 RMI の間接的評価法による E_m 推定結果を比較すると、 $RMR > 55$ で Bieniawski の推定式が、 $RMR < 60$ で Serafim and Pereira の推定式が適用できる(図-2参照)。一方、 Q 値からの推定式としては、Grimstad and Barton の推定式よりも、 $1 < Q < 30$ の範囲で $E_m = 8 \cdot Q^{0.4}$ の方が相関が良い(図-3参照)。また、 RMI からの Palmström の推定式では E_m が小さく評価され、 $E_m = 7 \cdot RMI^{0.4}$ の方が相関が良い(図-4参照)。

結論として、以下のことが言える。

【原位置試験】

- 原位置試験としては、PJT がもっとも良い。
- GJT や PLT は一般に低い値にある。PJT に比べて平均 1/2.5 倍。
- 発破損傷の影響として、補正係数はおよそ $Ff=3$ となった。
- 発破損傷領域における亀裂の閉合によって、試験荷重を増やすと変形係数も大きくなるので、PJT や GJT では高い圧力(4~6MPa)を使うべきである。同様の理由により載荷の第1サイクルを無視すべきである。

【間接的評価】

- RMR と RMI にもとづく E_m 推定値は Q 値のそれより良い。 Q 値は岩石のデータを使わないため。
- RMR にもとづく E_m 推定値は亀裂性岩盤では有効である。
- 軟岩や塊状岩盤に対しては、室内試験結果にスケール効果を取り入れた算定式によった方が良い。

(文責：岩田充功・鹿島建設(株))

地下構造物として施工されるコンクリートライニング DAUB 指針、2000年12月 / Concrete Linings for Tunnel built by underground Construction Recommendations by DAUB, December 2000

Tunnel 5/2001, pp.50-66

ドイツ地下構造物委員会(DAUB)による「永久コンクリート覆工」についての指針。既設のドイツの基準(Guideline 853, ZTV-Tunnel)や対応するオーストリアの指針と比較して取りまとめた。100年の使用性(serviceability)を保証するための高品質トンネル覆工を対象とした指針である。

以下、目次を記す。

1. 緒言
2. トンネル覆工の機能と設計
3. 殻(シェル)状コンクリートによるトンネル覆工
 - 3.1 概要
 - 3.2 使用性に関する要件(強度、水密コンクリート、特殊な物性)
 - 3.3 打設(型枠、つま部打継目、床盤打継目)
 - 3.4 コンクリート配合(セメント、混和材、混和剤、骨材、鋼繊維、練り混ぜ水)
 - 3.5 施工(打設面、覆工厚・鉄筋・かぶり、コンクリートの製造と打設、打設後の処置)
 - 3.6 品質保証(概要、安定性試験、初期使用材料、コンクリート製造工場、建設現場、施工)
4. 吹付けコンクリートによるトンネル覆工
 - 4.1 概要、製造
 - 4.2 使用性に関する要件(強度、水密コンクリート、特殊な物性)
 - 4.3 コンクリート配合(セメント、混和材、混和剤、骨材、練り混ぜ水、鋼繊維)
 - 4.4 施工(打設面、覆工厚・鉄筋・かぶり、吹付け工、養生)
 - 4.5 品質保証(概要、安定性試験、初期使用材料、コ

ンクリートの製造・施工現場、施工)

5. 鉄筋コンクリート製セグメント
 - 5.1 概要
 - 5.2 使用性に関する要件
 - 5.3 セグメントの設計(リング形状、軸方向接合部、周方向接合部、セグメントのボルト結合・ピン結合、止水シール、鉄筋)
 - 5.4 セグメントの製造(型枠・寸法の安定性、コンクリートの配合)
 - 5.5 セグメントの施工
 - 5.6 品質保証(概要、安定性試験、セグメントの製造管理、寸法管理)
6. 鉄筋コンクリート製推進管
 - 6.1 概要
 - 6.2 使用性に関する要件
 - 6.3 鉄筋コンクリート製推進管の設計(断面形状・寸法、管継手、止水、鉄筋)
 - 6.4 鉄筋コンクリート製推進管の製造(製造方法、コンクリートの配合)
 - 6.5 施工(推進工法による設置、開削工法による設置)
 - 6.6 品質保証(概要、製造管理、施工管理)

(文責：青木智幸・大成建設(株))

R. E. グッドマン, G. H. シー著

ブロック理論と岩盤工学への応用

A5判 上製本 360頁 本体価格4,855円 円380

吉中龍之進 大西有三訳

ブロック理論とは、岩盤内に分布する不連続面と自由面をなす岩盤表面、あるいは掘削面との間の三次元の幾何学的関係から岩盤の安定に影響を与える岩塊を見出す新しい手法である。

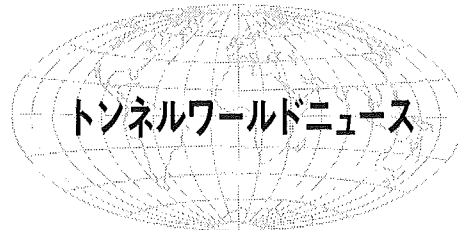
自由面と不連続面をなす不安定岩塊をキーブロックと呼び、そのブロックを安定させ岩盤全体の安定化をはかることがブロック理論の体系である。

したがって、トンネル・地下空洞・岩盤斜面などの築造に際しては、同理論の適切な活用によって安定した岩塊を確保し、支保や安全対策工の合理化・省力化をはかることができる。

【目次】序説/ベクトル解析を用いたブロックの形状と安定性の記載/図解法(ステレオ投影法)/ブロックの移動可能性/ジョイント・ブロック/地表の岩盤掘削へのブロック理論の応用/地下空洞へのブロック理論の適用/トンネルと立坑についてのブロック理論/移動可能ブロックの力学安定解析

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



(社)日本トンネル技術協会
国際委員会国内広報ワーキング

Sörenberg トンネル工事でトラブルを克服

請負者である Arge Tunnel Sörenberg JV (Ilbau, Cogeis社, Specogna社, Scheifele社から構成)は、スイスにおける 8,100 万ドル(105 億円, 1ドル=130円)、長さ 5.2km の Sörenberg ガス・パイプライントンネル建設工事で、工事中におけるガスの存在、切羽から取り込まれた岩塊、水の流入やセグメント覆工の破損といった複数の課題を克服しながら、スケジュールどおりに、そして予算内で工事を進めており、2002年5月に発注者である Transitgas 社へ引き渡す。

現在、同JVはトンネル底部にコンクリート製の基礎を施工中であり、掘削については直径4.5mの Herrenknecht 社製 TBM を使用して、夏にトンネルが貫通したことで、同JVおよびイタリアのコンサルタント Geodata 社の両者にとって多くの挑戦となった掘削作業は終了した。

1999年に契約した同JVは、内径 3.8m、嵌合継手やシールド材が付いた6分割のコンクリートセグメントリングを組み立て可能なシールドタイプのTBMを使用してトンネルを掘削することを選択した。

地質は、非常に変形し乱された砂岩、シルト岩、泥岩とそれらよりしっかりした泥灰岩からなり、複雑な地質のため問題が予想された。トンネル掘削は2000年5月に始まり、TBMは500mに達しないうちに、切羽で非常に異なった粒径のずりを出す地層に遭遇した。コンベヤに大きな岩塊が混入するため、カットヘッドを通り抜けてくる掘削ずりの大きさを調整する鋼製グリッドが必要であると判断し成功した。堆積物層である Schiereng Fylsch 層の掘削中に、ガスだまりに遭遇した。作業員の安全を確保するために換気システムを改良して、その結果、機械による引火の危険性を最小限にした。

予想より多い地下水が覆工の裏込め注入を洗い流す程度の流入量であったため、トンネル掘削の進行がまたげられ、不均等な荷重をもたらす覆工が破損した。そのため、再注入により荷重平衡を元に戻した。完了まで1年を要したトンネル掘削で、スケジュールどおりで予算内

でのトンネル貫通は、作業員のチームワークと柔軟な対応により困難な掘削を克服したことを示す。

現在のところ、この工事で使用したTBMはイタリアにおける似たような規模のプロジェクトに使用が予定されている。(T&T '01.10 担当 岡 康博)

シカゴのGrant Parkの地下駐車場改修工事

James McHugh Construction社は、シカゴのGrant Parkの下にある、地下3階構造で1,550台駐車可能な総敷地面積 3,700m² の South Grant Park 地下駐車場の改修工事を開始した。駐車場がシカゴのもっとも人通りの多い大通りと公園の真下であり、その改修工事は難しい仕事となる。

さらに難しいことに、駐車場は、Michigan Avenue と Jackson Boulevard という交通量が多い道路の下まで広がっており、シカゴの美術館に隣接している。この 3,100万ドルの仕事は2002年の11月に完成予定である。

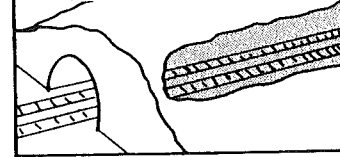
McHugh社は、North Grant Park駐車場の改修工事に引き続いて、JVのパートナーであるシカゴのRiteway Construction社と一緒に仕事をしている。北側の駐車場は公園の植生を取り除き地下駐車場の天井部分を撤去して開削により工事ができたのに対して、南側の駐車場にはそのような選択はなかった。「美術館が近くにあること、歴史ある景観に配慮して南側の公園は地上部分に手をつけずにした。そのために、この工事は巨大トンネル工事になった。」とMcHugh社の工事責任者である Micke Gould は述べた。

トンネル工事と同様に、すべての作業が立坑を利用して行われることになる。つまり、作業員、資機材、12,000m³のコンクリートおよび2,000tの鉄筋の搬出入を駐車場の2か所の10m×10mの立坑から行わなければならない。解体撤去は立坑の近辺から開始し外側方向に進められ、一方、再構築は立坑からもっとも離れた位置から開始し立坑に向かって進められる。

McHugh社は、基本的には、駐車場の側壁と上床版は現状のまま残し、駐車場のデッキ、路床、電気設備、空調設備、防火設備、配管や人命救助設備、画像監視システム、通信装置や料金所などはすべて撤去する。最後に、ミンガン通りの3つの区画に沿って、装飾用の植生を施す。McHugh社は駐車場の出入口の傾斜路も再配置する。それらは、公園に隣接して設けられており歩行者の邪魔になっているカーブサイドから、ミンガン通りの中心に設置され、改修されたNorth Grant Park 駐車場と同じように再構築される。このために、Michigan Avenue を掘り起こして設置しなければならない。

(WT'01.10 担当 小林裕二)

工法・技術・製品ニュース



土砂崩壊を確実検知

日本工営は、JR 東日本と共同で、斜面崩壊の発生を自動で検知し、素早く監視拠点に異常を報知するシステム「SFライセンサー」を開発した。

盛土用と切土用の2タイプでセンサーケーブルの断線、センサーの転倒により、列車の安全運行に支障が出る土砂崩壊を確実に検知する。センサーケーブルを斜面に沿ってライン状に設置するため広範囲な検知が可能となし、取り付けが容易である。

膨張性固化材で地盤安定

大成建設と不動建設は、リサイクル材を主成分とした膨張性固化材を用いた「液状化対策工法」を共同で開発した。

機械的に締め固めながら地中に打ち込んだ膨張性固化材が、地下水と化学反応を起こして体積膨張し、地盤をより安定させるもので、従来の砂杭工法と比べてコストはほぼ同等だが、工期は1/3短縮できる。転炉スラグを用いるため、リサイクル材の利用方法としても優れている。

空気圧で土砂垂直搬送

鹿島は、関西設計・住友金属工業と共同で工事中の掘削土砂をカプセルに入れ、輸送管内を空気圧で垂直方向に搬送する土砂搬送システムを実用化した。深さ1,000mクラスの大深度でも効率よく、安全に掘削土砂の垂直搬送を行うことも可能。

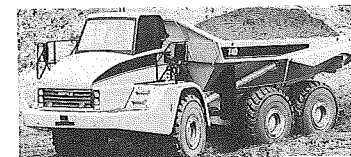
01年4月に施行された「大深度地下の公共的使用に関する特別措置法」にもとづき大規模都市圏で大深度地

下構造物工事の計画が具体化しつつあり、土砂搬送だけでなく、工事完成後の大深度地下構造物での垂直物流設備としても利用可能。

アーティキュレートダンプ

新キャタピラー三菱は、アーティキュレートダンプトラックのモデルチェンジ機種で3軸6輪駆動の「CAT740」(最大積載量: 36,300kg)を新発売した。

同機はエンジンの定格出力を上げて時間あたりの作業量をアップし、燃料生産性も向上。また、クーリング関係機器をキャブ後部に設置してメンテナンスを容易にするともに、容積と総ガラス面積の双方をアップしたセンターマウント式の新型ROPSキャブを搭載し、オペレータに快適な作業空間を提供している。



推進管路内に走行レール

関電工は、東京電力・東電設計と共同で急曲線を含む推進管路の全線にわたり電線管の一括引き入れが可能なる「急曲線トンネル内機械式配管工法」を開発した。

同工法は、推進管路内に走行レールを敷設し、管受け台に積載してユニット化した管材を順次引き入れて管路を構築する。東電埼玉支店管内の管路新設工事に適用し、曲率半径19mと24.6mの急曲線を含む配管に成功。機械式配管と手作業による配管を併用した従来工法と比べ15%程度の工期短縮が図られたという。

土壌浄化で米社と提携

フジタは、土壌・地下水浄化事業で米エーデンススペースシステムズ社(バージニア州)と技術提携した。

エ社が保有する植物浄化技術(ファイトレメディエーション)を導入し、重金属類で汚染された土壌の浄化事業を展開する。土壌中の重金属類を植物に吸収させて回収する浄化技術は、汚染土壌を運び出したり洗浄したりする方法に比べ、低コストでエネルギー消費量も少ないのが特長で、フジタは浄化工法のメニューに加えて提案営業に取り組む。

粉じんの拡散抑制

飛鳥建設は、吹付けコンクリート作業中の粉じん発生率を抑制できる「スラリーショットシステム」を開発した。

同システムは、カルシウム・サルフォ・アルミネート(CSA)系粉体急結剤とコンクリート、水を吹付けノズルの手前に配置した混合器を使って連続的にスラリー化し、数秒間で壁に吹付ける仕組みで、粉じん拡散を大幅に低減できる。

遠隔操作で装薬

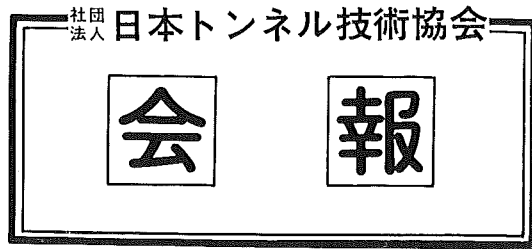
熊谷組は、発破掘削において作業員が切羽に密着せず装薬作業ができる「爆薬の遠隔装てんシステム」を開発した。

同システムは、2連型の遠隔装置と、装薬孔の清掃装置で構成する。切羽から2~3m離れた位置で装薬できることから、切羽崩落などの重大災害の防止に役立つ。

ビットを急速自動交換

西松建設は遠隔操作でシールド機のビット交換ができる「アピビット工法」を開発した。

切羽前面部にある固定ビットの裏側に交換用の予備ビットを装着しており、油圧モーターでビット交換装置のスポーク部を180度回転させて交換する仕組み。従来の手作業での交換は3週間程度を費やすが、同工法では約10分で交換作業を終了。



1. 会員の現状

	1月25日現在	2月25日現在
正会員	2,505名	2,467名
団体会員	303名	305名
個人会員	2,202名	2,162名
名誉会員	1名	1名
計	2,506名	2,468名

2. 第161回理事会

日時：平成14年2月21日(木)12:00~13:00
 場所：東京商工会議所8階「東商スカイルーム」
 出席者：理事30名、監事1名 計31名
 議題：

①評議員の交替を承認

旧	新	所属役職
水野光章	丈達俊夫	水資源開発公団理事

- ②39名の入会と77名の退会を承認
- ③第28回通常総会議案要綱を承認

3. 委員会の開催状況(2月1日~2月28日)

①調査研究関係委員会

◎契約積算委員会

山岳トンネル小委員会幹事会：2/26(峰田勲幹事長ほか9名)フリッカー対策調査を検討

◎施工技術委員会

支保幹事会：2/18(田中一雄幹事長ほか18名)ITA作業部会対策

TBM工法小委員会幹事会：2/25(高津壮太幹事長ほか10名)アンケート調査項目を検討

ITA長大トンネル部会対応分科会：2/15(佐々木裕主査ほか3名)アンケート調査結果を検討

都市トンネル小委員会幹事会：2/18(蒲沢正夫幹事長ほか9名)作業方針を検討

覆工特別小委員会：2/19(今田徹委員長ほか19名)

ファイバーの仕様を検討

同 幹事会：2/13(砂金伸治幹事ほか10名)原稿を検討

◎安全環境委員会

軌道装置安全特別小委員会幹事会：2/27(亀岡美友幹事長ほか12名)報告書を検討

◎研究開発委員会：2/8(大久保誠介委員長ほか22名)文献速報および抄訳を検討

TUST 対応分科会：2/15(小山幸則主査ほか11名)掲載論文を選定

沈埋・浮きトンネル小委員会：2/8(清宮理委員長ほか8名)ITA 作業部会対策

大深度技術開発ビジョン特別幹事会構築分科会打合せ会：2/14(北川滋樹副主査ほか8名)イラストを検討

同 リサイクル分科会：2/8(中川雅由主査ほか7名)報告書原稿を検討

◎地下利用委員会(幹事会合同)：2/15(大塚昭夫委員長ほか16名)ITA 作業部会対策

◎地中構造物特別委員会開削幹事会：2/24(前川宏一幹事長ほか12名)技術資料を検討

同 シールド幹事会：2/27(真下英人幹事長ほか17名)設計土圧を検討

◎特殊トンネル特別委員会幹事会：2/21(大野清幹事長ほか15名)報告書原稿を検討

◎探査手法特別検討会幹事会：2/25(笹博義幹事長ほか15名)報告書原稿を検討

◎耐久性向上特別検討会近接WG：2/5(畔高伸一主査ほか7名)報告書原稿を検討

同 同：2/20(畔高伸一主査ほか8名)報告書原稿を検討

同 同：2/27(畔高伸一主査ほか7名)報告書原稿を検討

同 保全WG：2/13(悦道博之幹事ほか7名)報告書原稿を検討

同 同：2/20(高橋正志主査ほか11名)報告書原稿を検討

◎八甲田トンネル技術特別委員会：2/26, 27(福士憲一幹事長ほか30名)現地視察

◎常磐新線常磐道トンネル施工技術特別委員会打合せ

会：2/26(山本稔委員長ほか3名)資料検討

◎阿部倉貫い道施工検討会：2/22(今田徹委員長ほか16名)現地視察

同 打合せ会：2/8(今田徹委員長ほか6名)資料を検討

◎地下空間有効利用特別検討会：2/19(西淳二座長ほか7名)報告書案を検討

◎土留め壁利用特別検討会：2/14(山本稔委員長ほか12名)試設計を検討

◎東北新幹線トンネル特別委員会：2/6, 7(足立紀尚委員長ほか53名)現地視察
計30回開催 418名出席

②運営広報関係委員会

◎総務委員会：2/21(山田和男委員長ほか13名)理事会

議題を検討

同 運営幹事会：2/14(鈴木剋之幹事長ほか12名)決算予算を検討

◎国際委員会

企画調整幹事会：2/7(橋場克司幹事長ほか10名)第5回COB対策

広報幹事会国内広報WG：2/27(小島健一幹事長ほか8名)ワールドニュースを検討

◎事業委員会：2/13(桑原彌介委員長ほか18名)新年度催物事業計画を検討

◎会誌委員会：2/26(橋本定雄委員長ほか10名)3月号の会誌と3か月計画を検討

計 6回開催 77名出席

合計 36回開催 495名出席

4. 国際会議の開催予定

会議名	開催日	場所	主催等	備考
「Intertraffic 2002」	2002.4.15~18	アムステルダム	Europoint	www.interffic.com
「北米トンネル技術会議 2002」	2002. 5. 18~22	シアトル(アメリカ)	アメリカ地下建設協会	http://www.auca.org/conferences/callforpapers.html#tunneling
国際会議「21世紀における土木工学の革新と発展」	2002. 8	北京(中国)	中国・土木工程学会	Call for papers
「21世紀にチャレンジする先進的な岩盤力学」	2002. 9. 24~27	ニューデリー(インド)	国際岩盤力学協会(IRSM)	http://www.cbip.org/ISRM2002.htm Call for papers
「トンネルと地下空間利用」	2002. 10. 16~18	イスタンブール(トルコ)	トルコ道路協会	
「地下と構造物」	2002. 10. 21~23	トゥールーズ(フランス)	フランストンネル協会	http://www.aftes.asso.fr Call for papers
「都市地下空間：都市の資産」	2002. 10. 21~23	トゥールーズ(フランス)	フランストンネル協会	http://www.aftes.asso.fr
第9回吹付けコンクリートに関する国際会議(SUS9)	2002. 11. 17~20	湘南村(神奈川県)	United Engineering Foundation 日本トンネル技術協会 国際トンネル協会	www.soc.nii.ac.jp/jta/susqindex.htm
第29回ITA総会および国際コンgres「地下空間の再生」	2003. 4. 12~17	アムステルダム(オランダ)	VOR・KIVI・COB 国際トンネル協会	http://www.betonvereniging.nl/wtc2003/

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

サン・ゴットアルドトンネルの火災事故についての報告

昨年10月に、スイス南部のアルプスを貫くサン・ゴットアルドトンネル内において火災事故が発生し、11人の犠牲者がでる大惨事となった。当協会は、スイス連邦道路局の副局長である Michel Egger 氏から同トンネルでの火災事故についてヒアリングの機会を得たので、その概要を報告する。ヒアリングは2月8日(金)に都内のホテルで行われ、JTA 側から萩原会長、宮口専務理事、河野国際委員会企画調整幹事会幹事(清水建設)の3名が出席した。

サン・ゴットアルドトンネルは、延長16.9kmのアルプスを貫く2車線の道路トンネルであり、1日あたり18,000台の交通量がある。火災事故は、2001年10月24日(水)午前10:00ごろに発生した。トンネルの南側入口から約1.5kmの位置で2台の大型トラックがトンネル壁面に衝突し、炎上した。トラックからの火災の威力はすさまじく、トンネルの天井板では1,200℃にも達した(調査委員会における損傷の程度より推定)。事故の10分後には、消防隊が到着したものの火勢が強く、トンネル坑内は炎の壁となって立ちほだかり、奥に進むことは不可能であった。翌日に火勢が弱まった時点で、消防隊は再度突入を決定したが、温度ははまだ200℃程度あり、救助作業に手間取った。同トンネルは隣接して避難通路が設置されており、250mごとに避難連絡坑があったものの、犠牲となった11名は火災発生時、車の中にとどまり、窓を締め切って救助の到着を待っていた人たちであり、全員が有毒ガスにより亡くなった。

本トンネルはアルプスを貫く幹線道路トンネルであり、交通量も年々増加しており、早急の復旧・開通が求められた。とくに、地元は、トンネルが長期間閉鎖されると、雪により地理的にも経済的にも閉ざされてしまうため、本格的な冬の到来の前の再開を望んだ。復旧のための調査が行われたが、幸いにも、換気のための天井板や側壁の内装板は熱により損傷が激しいものの、トンネル本体は予測されたほど傷んでおらず、早期復旧の見通しがたった。不眠不休の復旧作業が行われた結果、事故発生から2か月後の12月21日に通行車両の大きさに制限は規すものの再開することができた。

事故の教訓として、Egger氏は以下を力説した(日本との考え方の違いから、必ずしも全て日本にあてはまるとは言いがたいが、そのまま列挙する)。

- ・トンネル内での火災で怖いのは煙(有毒ガス)である。
- ・トンネル内で火災に遭遇したら、自分の足で即座にその場から退避せよ。仮に出口が近くても、決して、火災発生地点方向へ向かうな。
- ・決して、車内にとどまり、救助隊を待つことはするな。
- ・火災発生から5分がキーであり、その間の行動で生死が分かれると言っても過言ではない。
- ・消防隊は火災発生時から発生箇所5分以内に到着できることは稀である。
- ・火災発生時には、換気やスプリンクラーなど消火設備を過信せず、自分自身で避難せよ。
- ・スイスでは、トラックの燃料積載量を700ℓ以下(日本では1,500ℓの車があるというが……)に規制している。この規制値をもっと低く下げることがあるか、また、規制値をどのように守らせるかは今後の検討課題である。

新刊図書案内

図書番号	新刊図書名	個人会員	団体会員	一般	体裁
		(消費税込み、送料実費負担となります。)			
No. 200103	山岳トンネル工事における濁水処理設備計画の手引き	1,000円	1,000円	1,200円	A4判110頁
<p>昨今、社会的要請として環境保全が強く求められてきており、われわれ建設事業に係わる者にとって環境の視点はますます重要なものとなり、とくに建設工事による濁水については、下流水域の水利用に問題を生ずることもあるため、水質汚濁防止法等関連法令を遵守した現場管理が責務となっている。また、工事中の濁水処理設備は、恒久的な水処理施設とは異なり、数年間の使用を前提とした仮設備であるため、設置、撤去が簡単で経済性、汎用性が重視される。このような背景のもとに、当協会契約積算山岳トンネル小委員会において処理方法、設備規模等についての既存資料および実態調査結果などをもとに、整理、解析し「濁水処理設備マニュアル」的な図書として編纂することとした。</p> <p>編集にあたっては、濁水処理設備計画を設計するうえでの、濁水処理の基礎知識、関連法令、設備の現状・計画、維持管理についてわかりやすい解説書として取りまとめた。</p> <p>目次構成：第1章 総論 第2章 濁水の性質と濁水処理の基礎 第3章 処理水と廃棄物に関する法令 第4章 濁水処理設備の計画とその現状 第5章 濁水処理設備とその現状 第6章 維持管理 付録 用語集、濁水処理設備事例写真集</p>					
No. 200104	電力用立坑の性能照査型設計手引	1,000円	1,000円	1,200円	A4判85頁
<p>送電用ケーブルを収容する地中送電設備は、立坑・開削トンネルおよびシールドトンネル等からなっており、大都市域のエネルギー安定供給を担う重要な電力設備である。これらは、エネルギー需要の伸びにあわせて昭和30年代より計画的に建設され、現在では首都圏をはじめとする大都市域の地下部に多く整備され、生活、文化、経済活動を支えている。一方で、昨今の電力自由化の動きに伴い、電力設備の建設コスト縮減に対する社会的要求は、ますます高まっている。</p> <p>以上の背景から、東京電力(株)は、(社)日本トンネル技術協会に委託し、時代に相応した最新技術を活用した電力用の立坑および開削トンネル(以下、まとめて立坑という)建設の合理化を図るための技術手引を作成することを目標に、1999年7月、立坑限界状態設計特別委員会を設立し、次の3点の検討課題を抽出し、その成果を取りまとめた。</p> <p><input type="checkbox"/>限界状態設計法を活用した性能照査型設計法を導入する。 <input type="checkbox"/>構造物の実態に即した耐久性照査法を導入する。 <input type="checkbox"/>強い地震動に対して所要の安全性を照査できる耐震設計法を導入する。</p> <p>1章 総則：1.1 本手引の目的と適用の範囲、1.2 用語の説明、1.3 記号、1.4 関連する基準類 2章 荷重：2.1 一般、2.2 常時の設計荷重、2.3 異常時の設計荷重、2.4 設計地震動、2.5 地震時の設計荷重 3章 立坑の要求性能と目標性能：3.1 一般、3.2 要求性能の設定、3.3 目標性能の設定 4章 性能照査：4.1 一般、4.2 応答値と限界値、4.3 性能照査方法、4.4 安全係数 5章 材料の設計用値：5.1 一般、5.2 材料強度の特性値 6章 構造解析手法：6.1 一般、6.2 性能照査に用いる構造解析法</p>					

図書番号	新刊図書名	個人会員	団体会員	一般	体 裁
		(消費税込み、送料実費負担となります。)			
No. 200105	覆工コンクリート施工の手引き	2,700円	3,000円	3,600円	A4判126頁
<p>この手引は、山岳トンネル工法における品質のよい覆工コンクリート施工を目的に、編纂された技術的な参考資料である。編集にあたっては、現場の実態を反映するとともに、現場で品質のよい覆工コンクリートの施工に尽力している管理者やコンクリート打込みのリーダーが、理解しやすく参考にできるように文章はできるだけ簡潔なものとし、可能な限り数値を使用するように努めた。なお、内容は、使用する方々の利便性や覆工コンクリートの施工の注意点を多角的に把握できやすいように以下のとおり3部構成となっている。</p> <p>第1部：施工の注意点をコンパクト整理。</p> <p>第1章 総則(適用の範囲、コンクリートの充填、コンクリートのひび割れ防止、用語の定義)、第2章 コンクリート(コンクリートの流動性、配合、強度の発現)、第3章 型枠・設備(型枠の様式・設備、打継ぎ目溝型枠、型枠のオーバーラップ部、妻型枠、エア抜き金具、打込み機械、コンクリート、締固め機械)、第4章 防水シート、第5章 打込み準備(地山の変位、坑内環境、コンクリート数量の算出、コンクリートの運搬、剝離剤塗布、型枠の据付け)、第6章 コンクリートの打込み(打込み、締固め、ブリーディング水の処理、充填の確認、打止め、下り勾配での打込み)、第7章 脱型(脱型の時期、脱型方法、仕上がり確認)、第8章 養生(養生、貫通前の養生、貫通後の養生)、第9章 コンクリート打込み中断対策(打込み中断防止策、打込み中断、打込みを継続する場合の待機中の対策、打込み再開によるコンクリートの打ち重ね、打込みを中止する場合の対策)、第10章 覆工鉄筋コンクリート(鉄筋工、作業架台及び設備、コンクリートの打込み)</p> <p>第2部：第1部の個別項目の解説。</p> <p>第1章 コンクリート充填の重要性(充填の困難性、充填を考慮した配合、高流動コンクリート)第2章 コンクリート配合(配合の留意点、強度)、第3章 覆工コンクリートのひび割れ(ひび割れ、三日月状ひび割れ、三日月状ひび割れ防止対策)、第4章 設備(打込み機械、締固め機械、エア抜き金具、吹上げ口、充填確認方法、ブリーディング水処理方法)、第5章 防水シート(取付け、接合、下地面の処理、覆工コンクリート打設時の留意点)、第6章 トラブルによる中断(トラブルによる中断の種類、中断に対する予防法、中断に対する適切な処置)、第7章 覆工鉄筋コンクリート(鉄筋の組立て、シールド方式、鉄筋台車、コンクリート打設)、第8章 出来形確認(確認方法、背面空隙発見時の対策)</p> <p>第3部：チェックリスト</p>					
No. 200109	日本におけるトンネル工事の現況2002年版(英語)	3,000円	3,000円	3,600円	A4判34頁カラー
<p>本刊行物は、わが国におけるトンネル工事の現況と動向を紹介し、海外のトンネル技術者に日本の現状を正しく認識してもらうことを目的とするものであり、1985年に第1回目を発刊、その後1988年以降2年ごとに刊行。内容は次のとおり。鉄道：東北新幹線八甲田トンネル、北陸新幹線飯山トンネル、九州新幹線薩摩田上トンネル、臨海副都心線、営団11号線、京都市地下鉄東西線、名古屋市地下鉄4号線、道路：第二東名・第二名神高速道路、中央環状新宿線、名古屋高速1号線、北九州高速4号線、国道283号仙人トンネル、東京湾臨海道路西航路沈埋トンネル、水路：東京葛飾区配水本管、電力：関西電力学園豊崎間管路新設、東京電力神流川水力発電所、北陸電力志賀原子力発電所、地下開発：横浜市今井川地下調節池、神奈川県恩廻公園調節池、その他新技術</p>					

本協会出版図書実費頒布一覧

種 別 図 書 No	図 書 名	頒布価格(税込)		
		団体	個人	一般
[契約積算] 98004	山岳トンネル工事の仮設電力設備の現状	1,000	1,000	1,200
[施工技術山岳]				
5710	硬石 NATM における二次覆工の設計施工に関する調査研究報告書	3,000	2,700	3,600
5812	NATM の計測指針に関する研究報告書(計測指針案編)	2,200	2,000	2,500
92004	構造物等に近接した山岳トンネルの設計施工に関する研究報告書	4,000	3,600	4,800
96002	トンネルの吹付けコンクリート	5,000	4,500	6,000
96003	山岳トンネル工法における防水工指針	2,000	2,000	2,500
200002	TBMハンドブック・講習会テキスト	25,000	25,000	30,000
[施工技術都市]				
6305	シールド工法の都市トンネルへの適用性に関する調査研究報告書	2,500	2,500	2,500
92001	密閉型シールドの施工管理	3,000	2,700	3,600
97003	セグメントシールド材による止水設計の手引き	2,500	2,300	3,000
99002	地中構造物の建設に伴う近接施工指針	2,500	2,000	3,000
[機械資材]				
98002	トンネル工事用機械便覧(都市編)	8,000	7,000	9,600
[安全対策]				
94001	現場関係者必携 トンネル工事の安全-建設機械編-	2,700	2,400	3,300
6008	現場関係者必携 トンネル工事の安全-NATM編-	2,800	2,500	3,200
90009	現場関係者必携 トンネル工事の安全-運搬編-	2,500	2,300	3,000
92006	現場関係者必携 トンネル工事の安全-山岳トンネル斜坑・立坑編-	2,000	1,800	2,400
96001	現場関係者必携 トンネル工事の安全-山岳トンネル・大断面編-	2,700	2,400	3,300
98003	現場関係者必携 トンネル工事の安全-山岳トンネル・機械掘削編-	2,500	2,300	3,000
99001	現場関係者必携 トンネル工事の安全-山岳・発破作業編-	2,500	2,300	3,000
95003	シールド工事に係るセーフティ・アセスメントに関する指針・同解説	3,000	2,700	3,600
97001	山岳トンネル建設工事に係るセーフティ・アセスメントに関する指針・同解説	3,000	2,700	3,600
[環境保全]				
6012	トンネル内吹付けコンクリート施工時の坑内作業環境に関する調査研究報告書	2,200	2,000	2,700
[文献目録]				
6020	トンネルに関する文献目録(I)	6,600	6,000	7,200
[講習会・研究発表会・特別講演会]				
6209	ECL工法研究発表会	1,000	1,000	1,000
6308	地下空間利用に関する建設技術研究発表会	1,700	1,500	2,000
95001	ECL工法講習会(設計編・積算資料)	2,000	2,000	2,300
94002	山岳トンネルの地質に関する講習会	1,000	1,000	1,200
91002	吹付けコンクリートに関するフォーラム-日本と欧州の現状-	1,000	1,000	1,200
94006	ワグナー博士特別講演会-TBM-	1,000	1,000	1,200
90001	大深度地下利用技術の現状と将来展望(日本語)	2,500	2,300	2,800
90002	大深度地下利用技術の現状と将来展望(英語)	2,700	2,400	3,000
96007	第二東名TBM発進記念シンポジウム-大断面トンネルの合理的設計施工-	1,000	1,000	1,200
97004	ECL工法講習会	1,000	1,000	1,200
97005	最近の大深度地下利用の動向と協会活動報告	1,000	1,000	1,200
200010	大深度地下利用技術調査小委員会報告書-報告会テキスト-	1,000	1,000	1,200
200011	大深度地下利用技術調査小委員会報告書-モデル検討-	9,000	9,000	11,000
200012	設立25周年記念事業トンネル技術特別講演会	1,500	1,500	1,800
200001	トンネル技術ステップアップ研修会-シールドトンネル-	3,000	3,000	3,500
200004	トンネル技術ステップアップ研修会-山岳トンネル-	2,500	2,500	3,000
6306	第22回施工体験発表会-都市土木における NATM の施工-	1,000	1,000	1,000
6307	第23回施工体験発表会-新しいシールド技術-	1,000	1,000	1,000
89007	第25回施工体験発表会-都市トンネルにおける自動化・ロボット化-	1,000	1,000	1,200
90007	第27回施工体験発表会-泥水式シールドにおける泥水の安定管理-	1,000	1,000	1,200
94008	第35回施工体験発表会-シールドの新工法と新技術-	1,000	1,000	1,200
96009	第38回施工体験発表会-TBMによる施工(掘削工法とマシン)-	1,000	1,000	1,200
96010	第39回施工体験発表会-厳しい条件下における都市トンネルの施工-	1,000	1,000	1,200
97007	第41回施工体験発表会-新工法新技術-異形断面、地中接合、自動化・ロボット化-	1,000	1,000	1,200
98005	第42回施工体験発表会-環境に配慮した NATM の施工技術-	1,200	1,200	1,400
98006	第43回施工体験発表会-最近注目される都市トンネル技術-	1,200	1,200	1,400
99005	第44回施工体験発表会-高速のための関連技術-	1,200	1,200	1,400
99006	第45回施工体験発表会-最近の開削工事における問題点とその新技術-	1,200	1,200	1,400
89002	トンネル年報 '89(63年版)トンネル工事記録及び会員名簿	1,800	1,800	2,000
91001	トンネル年報 '91(平成2年版)トンネル工事記録及び会員名簿	1,800	1,800	2,000
92008	トンネル年報 '92(平成3年版)トンネル工事記録及び会員名簿	1,800	1,800	2,000
93003	トンネル年報 '93(平成4年版)トンネル工事記録及び会員名簿	1,800	1,800	2,000
94004	トンネル年報 '94(平成5年版)トンネル工事記録及び会員名簿	1,800	1,800	2,000
95002	トンネル年報 '95(平成6年版)トンネル工事記録及び会員名簿	1,800	1,800	2,000
96005	トンネル年報 '96(平成7年版)トンネル工事記録及び会員名簿	1,800	1,800	2,000
97002	トンネル年報 '97(平成8年版)トンネル工事記録及び会員名簿	1,800	1,800	2,000
98001	トンネル年報 '98(平成9年版)トンネル工事記録及び会員名簿	1,900	1,900	2,100
99003	トンネル年報 '99(平成10年版)トンネル工事記録及び会員名簿	1,900	1,900	2,100
200007	トンネル年報 2000(平成11年版)トンネル工事記録及び会員名簿	1,900	1,900	2,100

申し込み・問い合わせ先：〒104-0041 東京都中央区新富 2-14-7 新光第一ビル
社団法人日本トンネル技術協会 TEL: 03-3553-6174 FAX: 03-3553-6145

編集後記

■沈丁花の匂いがそこはかとなく漂い、3月の卒業式が終わり、瞬間に桜の花が咲き、春爛漫の入学式である。今年は春の到来が例年より記録的に早く、散った後の入学式となるかも。花見の名所の風物詩としての定番は、朝早くから陣取りに駆り出される若手社員。仕事が終われば桜の下、ゴザを敷いての大宴会。車座に座るのは、ひとつの盃を回し飲みした名残だとか。宴の席では主人と客人の区別なく、対等に共食共飲することが大切だったのだろう。車座は輪を大きくすれば、多くの人々を迎え入れることができ、誰でも期待できる場なのである。

■1年で最も心が浮き立つ春なのに、毎年この時期に花粉症で憂鬱な日々を送る人が大勢いる。花粉症患者は日本に約1,200万人いるといわれ、近い将来2,400万人以上と予測されている。その医療費の総額は、年間3,000億円にも達する、もはや「国民病」である。花粉症の経験が無い人も突然発症するという。

■現代病の代表ともいわれる花粉症だが、世界で初めて「病気」として認知されたのは、約180年前のイギリス。農夫が干し草を扱っているときに突然、くしゃみなどを発症し、鼻水や、眼の充血、ときには喘息のような症状を起こす人が出たという。しかし当時は、花粉アレルギーという考えはなく「枯れ草に触ったため」と思われ、「枯れ草熱」と名付けられた。その後の1873年になって、本当の原因がイネ科の牧草の花粉であると立証されたのである。

■現在、多種の花粉症が世界中に存在し、多くの人々を悩ませている。その中でも世界三大花粉症といわれているのは、ヨーロッパ各地に多い家畜の肥料のイネ科の牧草カモガヤの「イネ科花粉症」、アメリカに多いキク科の多年草のブタクサの「ブタクサ花粉症」、そしてわが国の「スギ花粉症」である。日本の花粉症の約8割が「スギ花粉症」という。戦後の植林政策の誤りが健康を害し、苦しめているのである。国民に愛されている桜の花と毛嫌いされているスギの花粉、同じ春咲く花なのに。

次号(5月号)予告

巻頭言	大塚 昭夫
都市部山岳工法による鉄道トンネルの設計標準	小西 真治
	小島 芳之
	朝倉 俊弘
鉄道営業線直下のNATM施工(その1)	島村 裕司
みなどみらい21線との相互直通運転に伴う東急東横線地下化工事	小林 理志
	関 聡史
	岩村 巖
小土かぶりの盛土地山をNew PLS工法で施工	遠藤 元一
横浜横須賀道路 吉井トンネル	及川 淳
	青山 昌二
	篠崎 英敏
近接した2本の鉄道単線シールドトンネルを泥水式シールドと泥土圧シールドで築く	入江 健二
営団半蔵門線 扇橋A線・B線工区	伊藤 忠信
	脇山 治樹
省面積立坑から3本のシールドを発進	前田 正博
東京都下水道局 千代田区外神田再構築工事	松浦 将行
	藤崎 満
	安本 匡剛

[連載講座]

吹付けコンクリート・ロックボルトに関するQ&A(22) ……JTA支保幹事会
補修・補強の工法・材料調査検討(1) ……JTA保守管理委員会

トンネルと地下(通巻380号)

(無断転載を禁ず)
ISSN 0285-631X
Tonneru to Chika

平成14年3月20日 印刷
平成14年4月1日 発行
(毎月1日発行)

社団法人日本トンネル技術協会
会長 萩原 浩
〒104-0041 東京都中央区新富
2丁目14番7号(新光第一ビル)
電話 (03) 3553-6174

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
電話 (03) 3267-2888(代)
FAX (03) 3267-2807

編集・発行人 山本 育徳

印刷所 新協印刷株式会社
〒112-0006 東京都文京区小日
向4丁目2番5号(安田ビル2F)

本誌の購読について

※購読ご希望の方は、書店または小社へ直接お申込みください。
※小社への申込みは振替用紙をご利用ください。その他適宜ご送金ください。
※お申込みの節は、誌名、購読期間、住所、氏名、所属などを明記のうえ、送金を添えてお申込みください。

購読料

1冊 1,230円(送料108円)
(本体価格 1,171円)

6か月 7,380円 送料共

1か年 14,760円 送料共

※振替番号 00110-8-190072

※取引銀行

みずほ銀行飯田橋駅前支店

(普通)6011339

東京三菱銀行神楽坂支店

(普通)0836984

本誌広告のお申込み方法

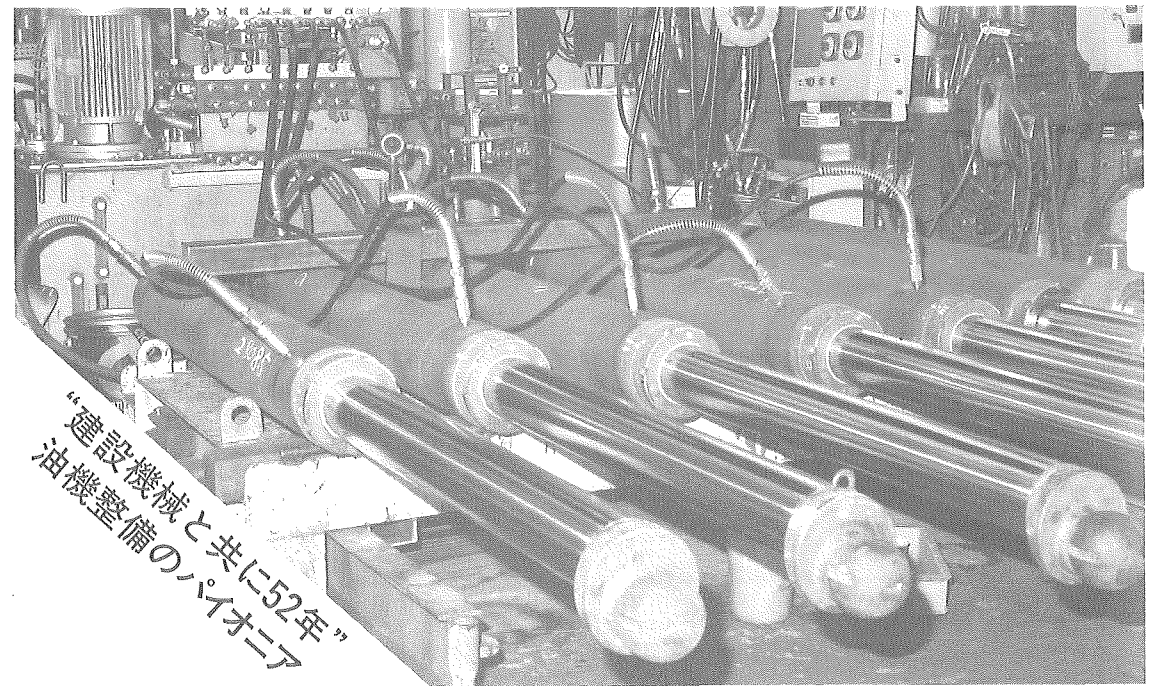
本誌への広告掲載は「トンネルと地下」営業部までご連絡ください。電話(03)3267-2888(代)

確かな技術で世界を結ぶ

MARUMA

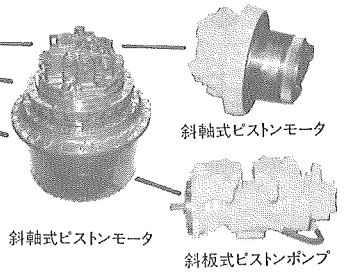
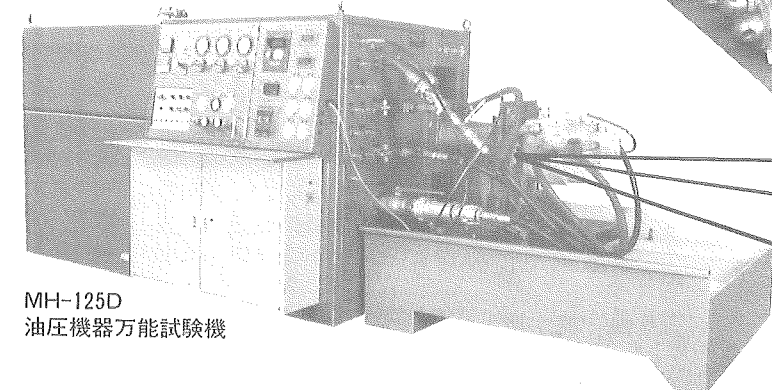
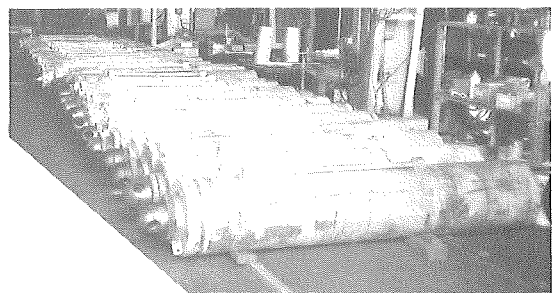
シールドマシン・建設機械

油圧機器の再生・リース



◎全て保証付ユニットで応えます

- 建設機械用油圧ユニット
- シールドマシン用油圧ユニット
- シールドジャッキ各種シリンダー
- MH-125D、MH-250試験機で万全テスト



マルマテクニカ株式会社

■相模原事業所(油機地下建機部)
神奈川県相模原市大野台6丁目2番1号 〒229-0011
電話 042(751)3809(ダイヤルイン) FAX 042(756)4389(直通)

■本社・東京事業部 東京都世田谷区桜丘1丁目2番22号 〒156-0054
電話 03(3429)2141(大代表) FAX.03(3420)3336
■名古屋事業所 愛知県小牧市小針町中市場25番地 〒485-0037
電話 0568(77)3311(代表) FAX.0568(72)5209
■厚木事業所 神奈川県厚木市小野651 〒243-0125
電話 0462(50)2211(代表) FAX.0462(50)5055

【好評発売中】

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 代表 鈴木 章
B5判 約280頁 本体価格4,660円 円380円

【推薦の言葉】

東京都技監兼下水道局長・工学博士 村田 恒雄

泥水式、土圧式シールドの開発と実用化により、切羽の崩壊や地盤沈下の防止はもとより、適用地盤の拡大、施工性や作業環境の改善なども飛躍的に進み、都市トンネルの施工法としてシールド工法は一般化されてきた。そして、今日では、立坑の設置や発進などの工夫や、特殊な断面形状や多円形のシールド工法の開発など、今日のニーズや用途に応じた技術が誕生している。これらの技術は、国内はもとより英仏海峡トンネルの建設でも活用されるなど、広く海外でも日本で育ったトンネル技術として社会基盤造りに貢献している。

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

本書の刊行が、シールド工事のより一層の安全性や経済性に寄与するとともに、新しいシールド技術の発展に貢献するものと確信するものである。

目 次

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

株式会社 土木工学社

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

さーりーとーりー線

《ご 注 文 票》

シールドトンネルの新技术 _____ 冊 申込みます。

所在地 〒 ()

事業所名 _____

部 課 名 _____

申込者名 _____

®

現在から未来への地球環境を見つめる土木専門図書

トンネル工学

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
B5判 285頁 本体4,660円 (円380円)

セグメントの新技术

監修 小泉 淳
B5判 132頁 本体2,000円 (円310円)

推進工法の理論と実際

野田典宏 訳 中本至・石橋信利・金城英夫 監修
B5判 437頁 本体8,500円 (円450円)

山岳トンネルの新技术

ジェオフロンテ研究会編
B5判 500頁 本体14,573円 (円450円)

わかりやすいトンネル力学

福島啓一 著
B5判 286頁 本体5,825円 (円380円)

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
A5判 204頁 本体2,800円 (円310円)

トンネル工事の衛生と環境保全

臼谷三郎・橋本康孝・友田 孝 共著
A5判 211頁 本体3,200円 (円380円)

岩盤工学・地質工学

地下水の科学Ⅰ～Ⅲ (全3巻)

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

第Ⅰ巻 地下水の物理と化学
B5判 235頁 本体4,078円 (円380円)

第Ⅱ巻 地下水環境学
B5判 252頁 本体4,272円 (円380円)

第Ⅲ巻 地下水と地質
B5判 197頁 本体3,689円 (円340円)

岩盤地下空洞の設計と施工

E. フック・E.T. ブラウン 共著
小野寺透・吉中龍之進・齊藤正忠・北川隆 共著
B5判 444頁 本体9,800円 (円450円)

FAXでのお申し込みは03-3267-2807

株式会社 土木工学社

ブロック理論と岩盤工学への応用

R.E. グッドマン・G.H. シー 共著
吉中龍之進・大西有三 共訳
A5判 360頁 本体4,855円 (円380円)

岩盤の計測と解析

鈴木 光 著
A5判 244頁 本体4,200円 (円380円)

建設工事の保安地質学【改訂版】

石井康夫 著
A5判 474頁 本体6,000円 (円380円)

建設工事の地質診断と処方

石井康夫・矢嶋壯吉 共著
A5判 324頁 本体4,300円 (円380円)

わかりやすい土质地質学入門

池田和彦・大島洋志 共著
A5判 224頁 本体1,900円 (円310円)

わかりやすい土质地質学

大島洋志 監修
B5判 209頁 本体2,500円 (円340円)

地質工学概論

菊地宏吉 著
B5判 276頁 本体4,757円 (円380円)

土木一般・その他

海洋資源開発

福田善紀 著
A5判 247頁 本体3,400円 (円380円)

ジオテクスタイル設計マニュアル

T. A. Jaliburton・D. Lawmaker・V. C. McGuffey 共著
田中 茂・山岡一三・廣田泰久 共著
A5判 405頁 本体8,000円 (円380円)

続 きみの庭にも温泉が出る

石井康夫・俣野恭寛 共著
新書判 220頁 本体1,200円 (円240円)

きみも金鉱を発見できる

石井康夫 著
新書判 200頁 本体980円 (円240円)

〒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

TAIKU



CL301E型 カッタローダ

強力な掘削

最大掘削高さ6.6m

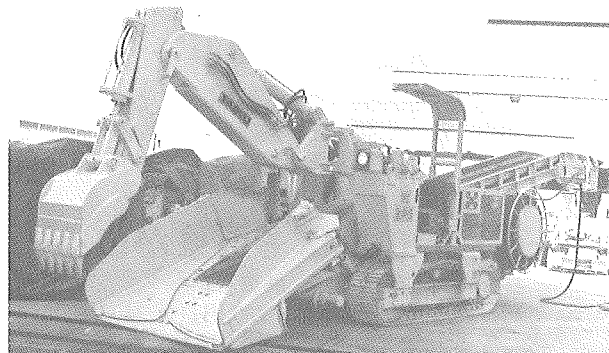
特長

1. カッタ駆動モータは、110kW電動機搭載
2. 散水装置により、ビット冷却と粉塵抑制
3. パワーコントロールにより、岩質等に応じて、自動的にドラム送り制御
4. ケーブルリールにより、電源ケーブルのさばきが容易
5. 走行移動用ディーゼルエンジン搭載

トンネル掘進機の本命・カッタローダ

山岳土木の豊富な実績を基に、なお開発に挑戦します。

RL型タフローダ



RL10

油圧式ズリ積機

アタッチメントとして
カッタヘッド
油圧ブレーカ搭載可能

型式	RL10	RL5
適用ズリ取断面	7~30m ²	4~14m ²
油圧パワーバック	45kW	31kW
ベルトコンベヤ能力	150m ³ /H	70m ³ /H
重量	12.6トン	9.2トン

製造・販売・レンタル 株式会社 **タイクウ**

本社 〒144-0047 東京都大田区萩中三丁目6番5号 ☎(03)3741-3131(代表) FAX(03)3741-6457

吹付けコンクリート用急結剤

「太平洋ショットマスター」



2 短時間強度長期耐久性が 良好です

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

1 急結性に 優れています

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

3

塩化物を 含んでいません

塩化物を含んでいないので
ロックボルト・鋼製支保工等の鋼材を腐食させません

優れた付着性!!

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

太平洋マテリアル株式会社

- 営業本部 土木資材営業部 〒103-0023 東京都中央区日本橋本町4-8-15 ネオカワイビル7F TEL.03-3278-5319
- 北海道支店/TEL.011-221-5855
 - 東北支店/TEL.022-221-4511
 - 東京支店/TEL.03-3278-5331
 - 北陸支店/TEL.076-234-1670
 - 中部支店/TEL.052-452-7141
 - 関西支店/TEL.06-6228-6660
 - 中国支店/TEL.082-261-7191
 - 四国支店/TEL.087-833-5758
 - 九州支店/TEL.092-781-5331