

トンネルと地下 **7**

vol. 47
no. 7
2016

Tunnels and Underground

新東名高速道路豊田東JCT～浜松いなさJCT間のトンネル群

ずり出しにカーブベルトコンベヤと竖シュートを用いて周辺環境への影響を低減

長大山岳トンネルにおける生産性向上への取組み

小口径シールドで複合地盤を長距離掘進

覆工材料の違いによる変形破壊挙動に関する実験的研究

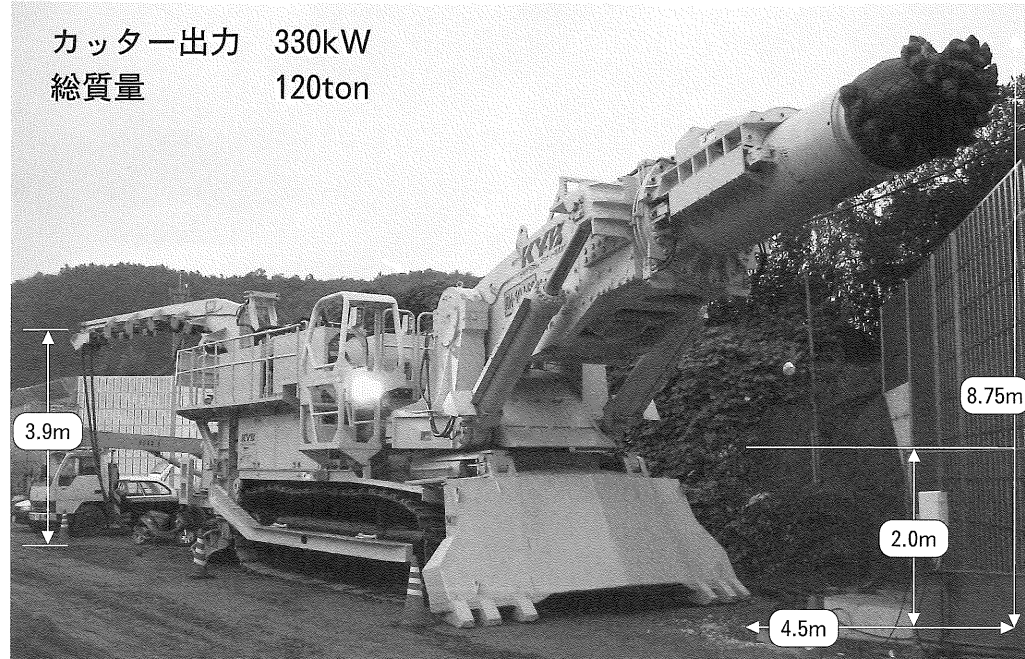
日本トンネル技術協会誌



ミニベンチ工法 両用型 ショートベンチ工法

RH-10J-SS 強力型ブームヘッダー

カッター出力 330kW
総質量 120ton



主な特長

- ・カッター出力は330kWで、強力な切削力を発揮し、軟岩から硬岩まで幅広い地質に対応。
- ・機体寸法は、高さ3.9m×幅4.2m×長さ16.5m(ケーブルハンガーを除く)
- ・定位置最大切削範囲は、高さ8.75m×幅9.6m
- ・高圧水ジェット噴射で粉塵抑制とピック消費量低減。
- ・接地圧が低く、軟弱地盤にも対応。

KYB カヤバシステム マシナリー株式会社

KAYABA SYSTEM MACHINERY CO.,LTD.

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

本社・営業 〒105-0012 東京都港区芝大門2丁目5番5号 住友不動産芝大門ビル TEL 03-5733-9444
 ガスターサービス 〒252-0328 神奈川県相模原市南区麻溝台1丁目12番1号 TEL 042-767-2586
 相模事業所 〒564-0063 大阪府吹田市江坂町1丁目23番地20号 TEK第二ビル TEL 06-6387-3371
 大阪支店 〒812-0013 福岡県福岡市博多区博多駅東2丁目6番26号 安川産業ビル TEL 092-411-4998
 福岡支店 〒514-0396 三重県津市雲出長常町1129番地11 TEL 059-234-4111
 三重工場

吸引ダクトが無くても**全ての断面、全ての延長**に対応

たった**37kW**で**2,750m³/min** イーダスコ270使用時

NETIS

公共工事における新技術活用システム

登録番号: **TH-100024-VE**

トンネル工事用 電気集じん器

e-DUSCO

イーダスコ240/イーダスコ270

ファン動力30kW ファン動力37kW

経済産業省後援

第39回優秀環境装置

日本産業機械工業会 会長賞

全てのトンネルに
適用可能!

- クラス最高の集じん効率95%*
- 有害な微細粉じんも逃さない電気式
- 現場メンテナンスは手間いらず
- 大風量と省エネを同時に実現



吸引捕集方式にも対応

48m²の設置例

希釈封じ込め方式での計算例

① 粉じん発生量

$$Fo = 360 \times 22 \text{m}^3/\text{h} \times 0.75 = 5,940 \text{ (mg/min)}$$

② 所要換気量

$$Q4a = \frac{5,940}{3.0 - 0.07} = 2,027 \text{ (m}^3/\text{min)}$$

$$Qa = 54.0 + 2,027 = 2,081 \text{ (m}^3/\text{min)}$$

③ 集じん機の選定

$$Qs = 1.2 \times \frac{2,081}{0.93} = 2,686 \text{ (m}^3/\text{min)} \leq 2,750 \text{ (m}^3/\text{min)}$$

| 品名 | e-DUSCO240 | e-DUSCO270 |
|---------------------|-----------------------------------|------------------------------------|
| 型式 | FTE2400/FTE2400-E | FTE2700-E |
| 集じん装置の容量 | 1800・2100・2400m³/min 任意設定の4モード | 1800・2100・2700m³/min 任意設定の4モード* |
| 全長 ^{※1} | 7411mm (サイレンサー含む) | |
| 全幅 | 2350mm | |
| 全高 ^{※2} | 3700mm | |
| 本体重量 | 10t | 11t |
| 電源仕様 | 3相3線400V58kVA | 3相3線400V107kVA |
| ファン動力 | 30kW | 37kW |
| 消費電力 | 23kW・28kW・33kW・任意 (伸縮風管接続時と同じ) | 23kW・28kW・40kW・任意 (伸縮風管接続時と同じ) |
| 洗浄水 ^{※3} | 2.4~3.2m³/回 | |
| 捕集ダスト処理 | 湿式 | |
| 集じん効率 ^{※4} | 95%以上 | 93%以上 |
| 吸引捕集方式 | 対応可 | |

注) 伸縮風管システムは本体には含まれません。

※1 入口ダクト及び絞りダクトは含みません。 ※2 台車および揚重用治具の高さは含みません。 ※3 機種により多少異なります。

※4 JIS Z 8808 並びに換気技術指針(H24.3)に定める試験方法に基づき第三者計量機関により測定した値です。 ※5 任意設定にて最大2,750m³/minまで可能です。

△ 古河機械金属グループ
古河産機システムズ株式会社

URL: <http://www.furukawa-sanki.co.jp/>

本 社 〒100-8370 東京都千代田区丸の内2-2-3 第三営業部 ☎03-3212-6575
 大阪支店 ☎06-6344-2532 名古屋支店 ☎052-561-4580 札幌支店 ☎011-784-1179
 東北支店 ☎022-221-3532 九州支店 ☎092-741-5193 小浜工場 ☎0285-23-8662

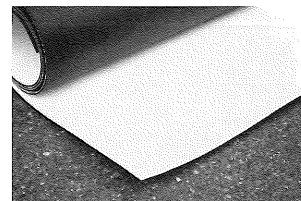
ウォータータイトトンネル 防水システム



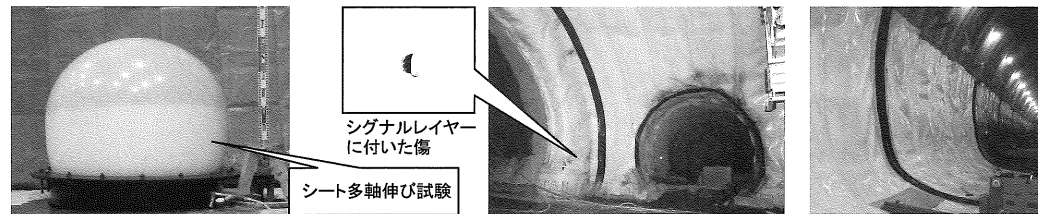
非排水型防水システム用メンブレン
KFCタイトライナー

シート防水材

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



シグナルレイヤー付防水シート



シート多軸伸び試験

シグナルレイヤーに付いた傷

基本システム

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

漏水対策システム

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

KFC 株式会社 ケー・エフ・シー

土木資材事業部(東京) TEL(03)6402-8251 FAX(03)6402-8255
土木資材事業部(大阪) TEL(06)6363-1884 FAX(06)6313-0755

1本1本が大切! だから

次世代 防食 ロックボルト

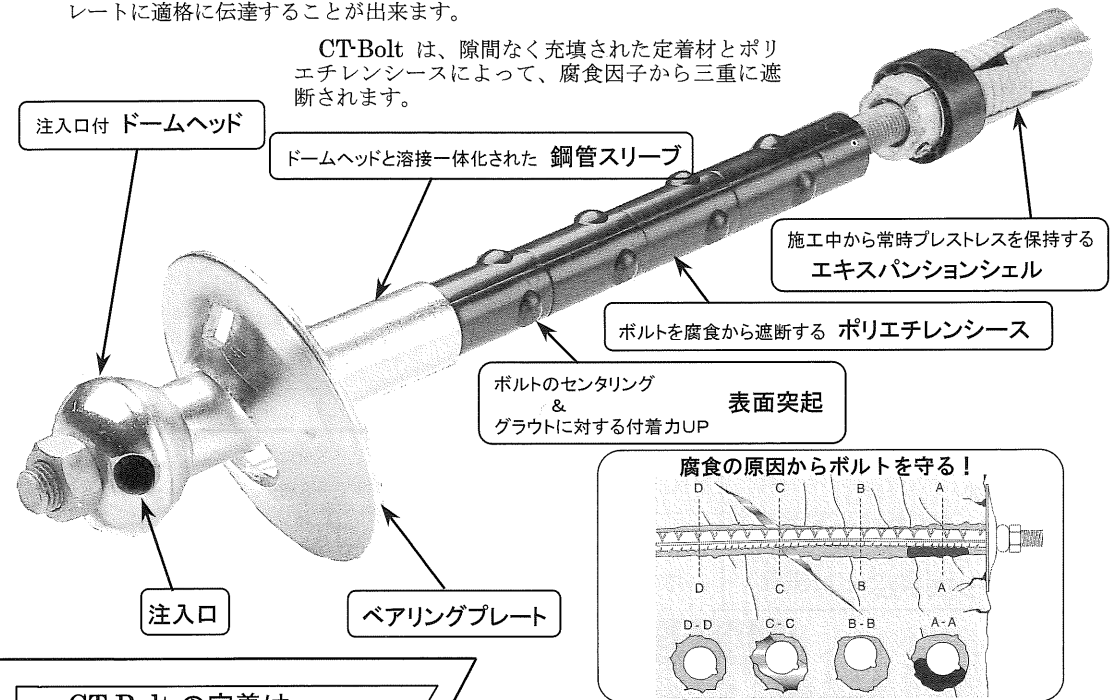
CT-Bolt



通常施工により超長期支保

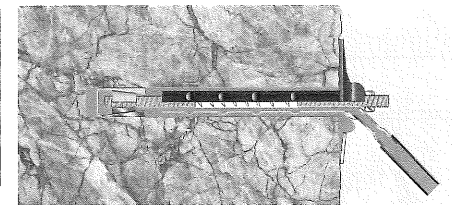
CT-Bolt は、施工直後からプレストレスを導入し、特殊半球型ドームヘッドにより、地山の動きに伴う荷重をベアリングプレートに適格に伝達することが出来ます。

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



CT-Bolt の定着は・・・

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



用途:

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

完全充填

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

総発売元 Your Fastening Partner

KFC 株式会社 ケー・エフ・シー

〒105-0011 東京都港区芝公園2丁目4番1号
お問い合わせ先 TEL: 03-6402-8256
技術部 FAX: 03-6402-8255

K series

カテックスの補修・補強材料

当社は、注入式フォアポーリングや長尺フォアパイリング、長尺鏡ボルトなど山岳トンネル工事の補助工法における樹脂系の注入材のパイオニアとして、数多くの実績を築いてきました。一方、老朽化してきている既設トンネルにおいては、適正に維持管理をし延命化するための補修、補強工事が行われています。これらに対応して、当社の樹脂系注入材の豊富なノウハウと技術力を活用して、既設トンネル補修、補強工事に適する樹脂系材料「Kシリーズ」を開発しました。

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

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

減水・止水材
⇒KOD-M(カバードエム)
注入用ボルト
⇒KMPシステム



地山注入工

防水工

防水シート
⇒スーパーシート
⇒EMBOシート

ひび割れ箇所、施工目地部
への漏水対策工

減水・止水材
⇒KOD-M(カバードエム)

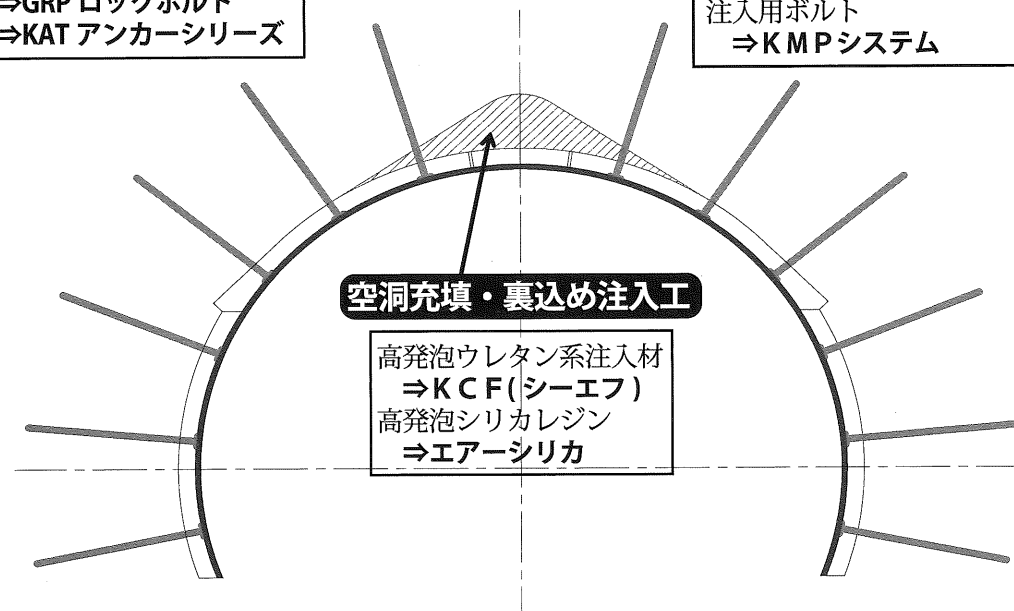
ロックボルト工

ロックボルト材
⇒ツイストボルト
⇒異形棒鋼ロックボルト
⇒GRPロックボルト
⇒KATアンカーシリーズ

ウレタン系ロックボルト定着材
⇒KUF(クフ)
⇒高強度シリカレジン(SRC)

背面注入工

背面注入材(減水止水材)
⇒KOD-M(カバードエム)
注入用ボルト
⇒KMPシステム



空洞充填・裏込め注入工

高発泡ウレタン系注入材
⇒KCF(シーエフ)
高発泡シリカレジン
⇒エアーシリカ

営業品目

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

KATECS

株式会社 カテックス
建設資材事業部

ホームページ <http://www.katecs.jp/>

技術部・中部営業部

TEL) 052-331-8821 FAX) 052-332-0164

東京支店

TEL) 03-3260-8321 FAX) 03-3266-1648

東京支店(仙台事務所)

TEL) 022-344-6041 FAX) 022-344-6042

関西営業所

TEL) 06-6578-3235 FAX) 06-6578-3237

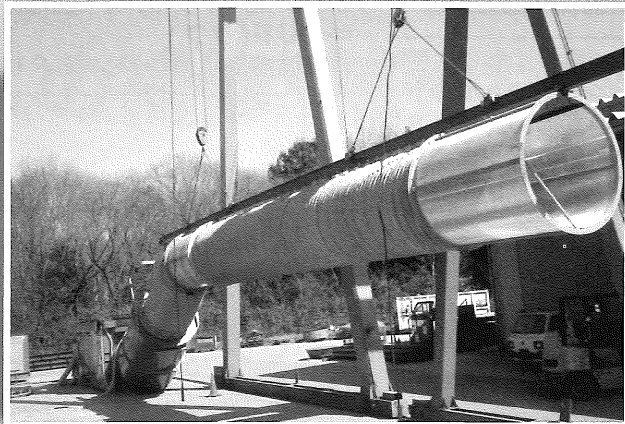
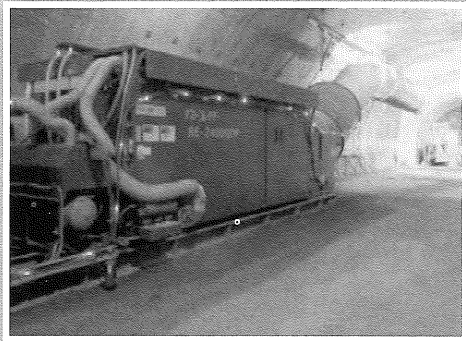
九州営業所

TEL) 092-574-0856 FAX) 092-574-0846

北海道地区(株)エイチ・アール・オー

TEL) 011-821-5868 FAX) 011-821-6644

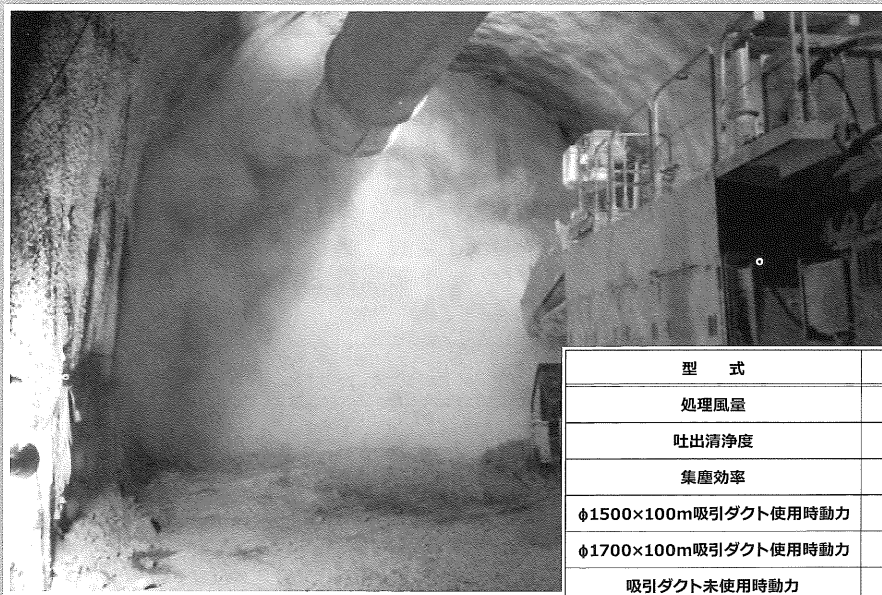
R²C(スクエアール)工法研究会 事務局 (株)カテックス 内 TEL) 052-331-3997



動力60%低減実現！(当社従来比)

吸引捕集換気システム **RE-2400QDP** 新登場

「コンパクト&低動力&高浄度」を一度に実現した孤高のスペック



| | |
|----------------------|--------------------------|
| 型 式 | RE-2400QDP |
| 処理風量 | 2,400m ³ /min |
| 吐出浄度 | 0.1mg/m ³ 以下 |
| 集塵効率 | 99%以上 |
| φ1500×100m吸引ダクト使用時動力 | 440V・83kW |
| φ1700×100m吸引ダクト使用時動力 | 440V・64kW |
| 吸引ダクト未使用時動力 | 440V・58kW |
| 寸法 (L×W×H) | 2,869×12,963×3,387(mm) |
| 重量 | 12,600kg |

最適環境を創造する
株式会社 流機 エンジニアリング

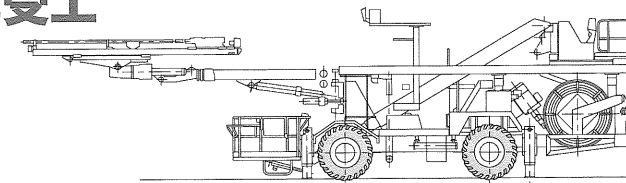
〒108-0073 東京都港区三田 3-4-2
 TEL: 03-3452-7400
 URL: <http://www.ryuki.com/>
 E-mail: eigyobu@ryuki.com



環境対応型長尺鋼管先受工

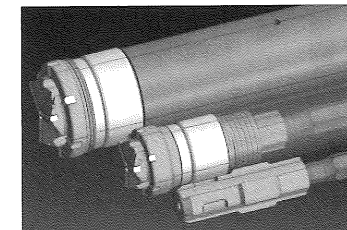
TOHO **AGF** System

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

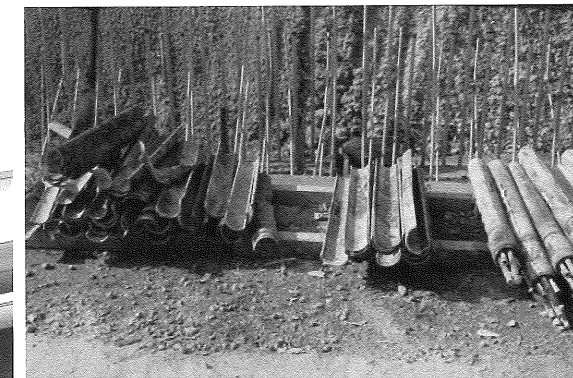
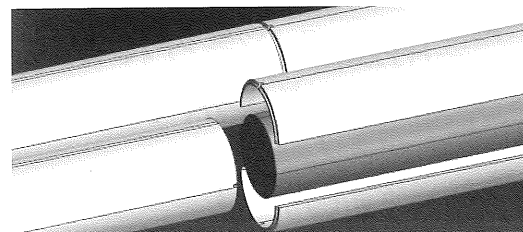


AGF-Me工法

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



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



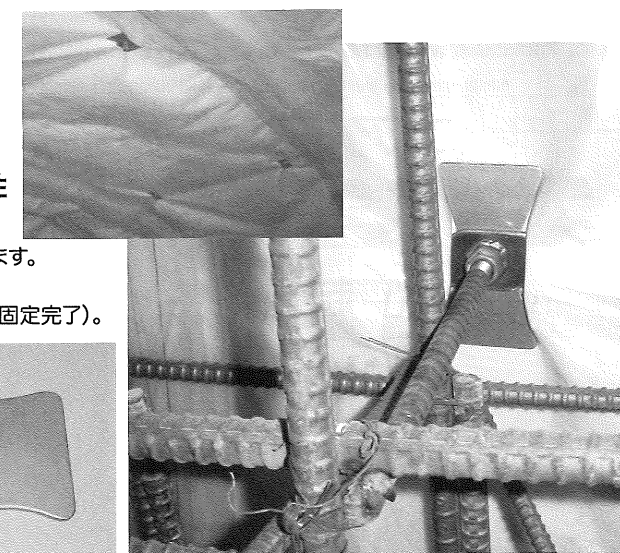
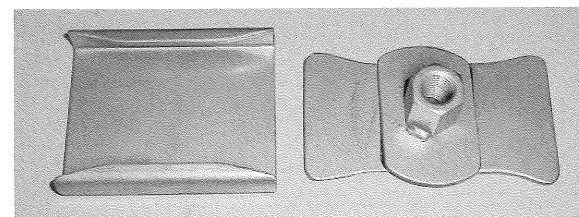
防水シート非貫通型鉄筋吊り金具

TKグリッパー

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

固定方法は3ステップ

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



東邦金属株式会社
 TOHO KINZOKU Co., LTD

営業部

株式会社 トーキソール

〒541-0051
 大阪府大阪市中央区備後町2-4-9 日本精化ビル 2階
 Tel: 06-6229-9881 Fax: 06-6229-8150
 URL: <http://www.tohokinzoku.co.jp>

〒210-0854
 神奈川県川崎市川崎区浅野町4-11
 Tel: **044-333-0012** Fax: **044-333-0321**
 (お問い合わせ先)

コンクリートの劣化, 欠陥箇所の改修, 補修……

急硬性改修モルタル

ドクターQ改修工法



〈工期短縮, 即日仕上り〉

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

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

エアモルタル裏込め注入……

エスコート

L & K 起泡剤



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

◆ 土木資材の総合プランナー ◆



株式会社 マーイル

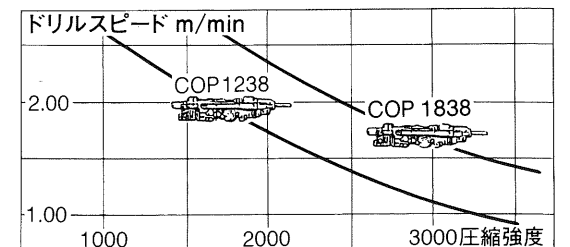
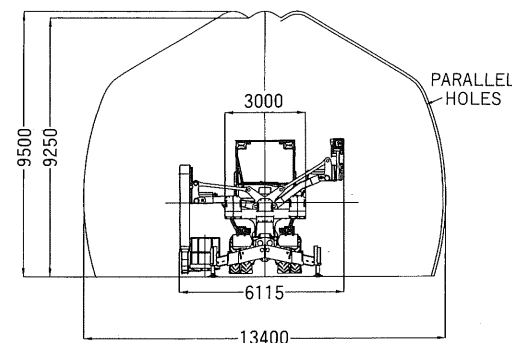
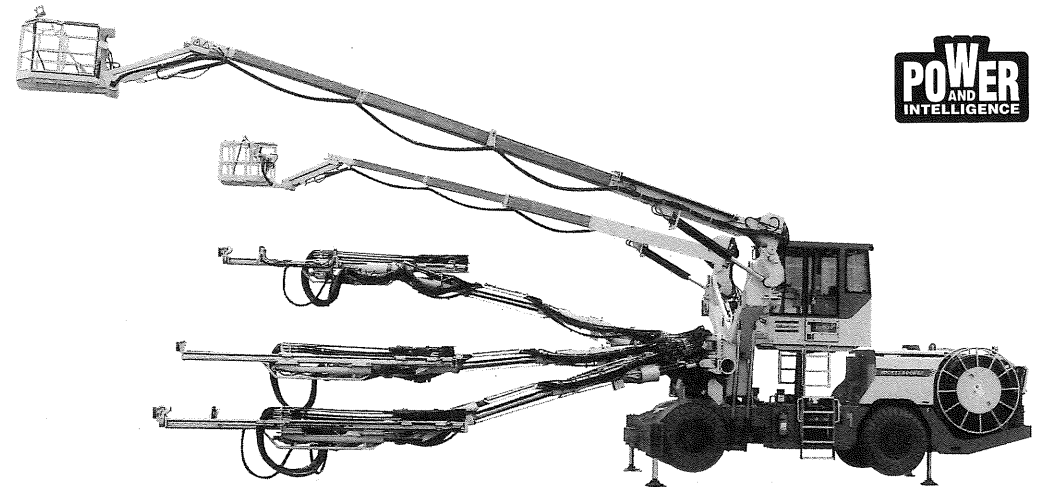
〒120-0047 東京都足立区宮城 2-4-16
TEL 03(3927)1331(代)

アトラスコプコ・コンピュータジャンボ

The Next Generation ロケットブーマーL3C-2B

COP1838油圧ドリフター搭載

3ブーム・2バスケット



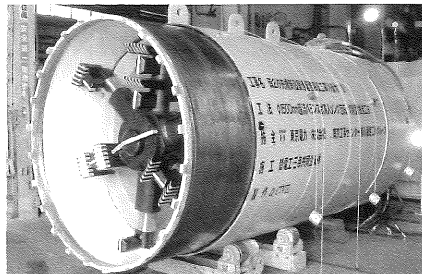
ドリルマシン株式会社

DRILL MACHINE CO., LTD.

- 本社 〒116-0014 東京都荒川区東日暮里 6-16-8 桂ビル5階
TEL (03) 3806-3377 番 FAX (03) 3806-8461 番
- 関西支店 〒657-0864 兵庫県神戸市灘区新在家南町5-8-4
TEL (078) 802-5551 番 FAX (078) 802-5528 番
- 東北営業所 〒024-0055 岩手県北上市大堤南 2-1-36
TEL (0197) 72-7416 番 FAX (0197) 72-7418 番
- 九州営業所 〒830-0021 福岡県久留米市篠山町 12-3-301
TEL (0942) 27-5992 番 FAX (0942) 27-5993 番
- 兵庫工場 〒679-1332 兵庫県多可郡多可町加美区大袋川端454-3
TEL (0795) 36-0461 番 FAX (0795) 36-0467 番

超流バランスセミシールド工法 超流セミシールド協会

貫入リング押出し回転切削型接合法



φ1500mm 貫入リング回転切削型掘進機(接合切削時)

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

貫入リング回転切削型接合法の特徴

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

密閉型先受け長距離・曲線パイプルーフ工法



φ1016mm鋼管対応リターン回収機能付掘進機

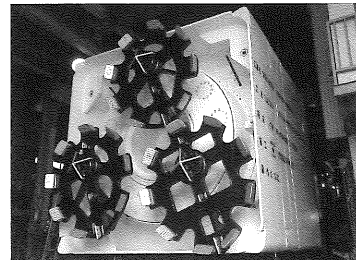
- ① 地下水位以下の施工が可能
- ② 高水圧対応
- ③ 長距離・曲線施工
- ④ 到達立坑不要

密閉型先受け長距離・曲線パイプルーフ工法の特徴

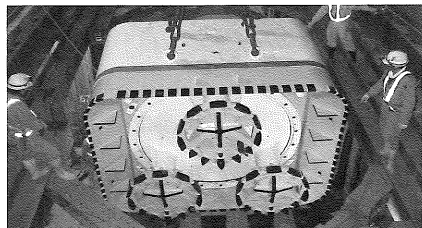
- JIS鋼管φ812~φ1216に対応可能(角鋼管も対応可能)
- 密閉型掘進機のため、高水圧下においても施工可能
- 長距離・急曲線推進が可能
- 軟弱層~粘性土層~硬質土層に対応可能
- 到達回収立坑がない場合でも、迅速な引き戻し回収が可能

ボックス推進工法 ボックス推進工法協会 NETIS QS-100019-A

多軸自転・公転掘進機(内空寸法□3000×3000)



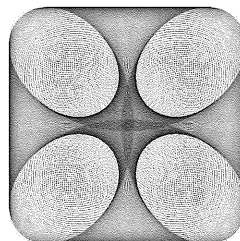
多軸自転・公転掘進機(内空寸法□2800×1800)



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

ボックス推進工法の活用例

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



カッタービット軌跡

ボックス推進工法の特徴

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

協会事務局・技術本部 **株式会社 アルファシビルエンジニアリング**

αCIVIL

〒812-0015福岡市博多区山王1丁目1番18号
TEL (092) 482-6311 FAX (092) 482-6363
E-mail: arfa@oregano.ocn.ne.jp
URL <http://www.alpha-civil.com>

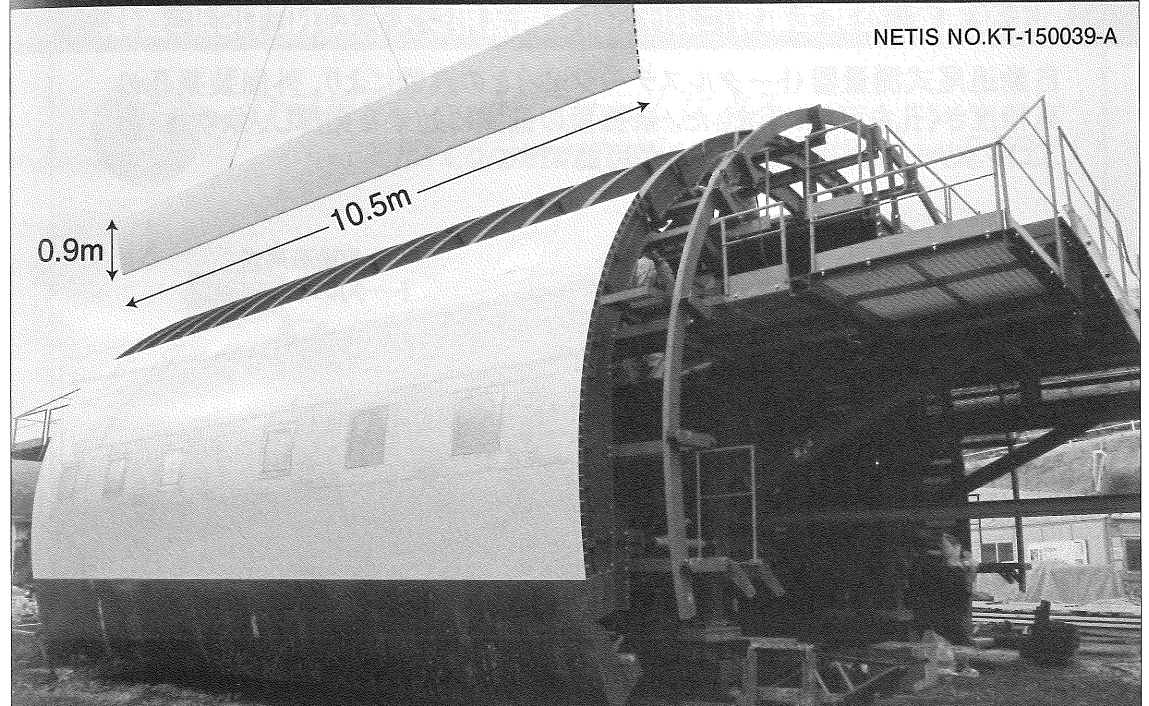
建設コンサルタント登録番号: 建23第8677号
測量登録番号: 登録第(2)-30507号
建設許可番号: 国土交通大臣許可(特-23)第19193号

※各工法協会名簿については、ホームページをご参照下さい。

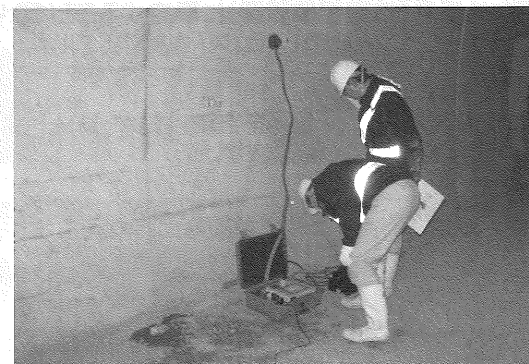
NEW

トンネル覆工初期養生FRP工法 ~ハイブリッドフォーム誕生~

NETIS NO.KT-150039-A



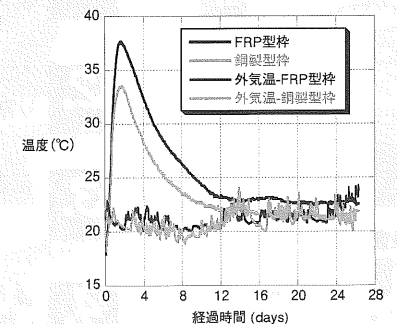
透気試験実施



覆工コンクリートの表層部分の透気係数を測定することにより、コンクリートの中性化速度係数が30%~50%程度低下し耐久性が大幅に向上

覆工コンクリート温度の経時変化

[宮崎大学との共同研究により、横アジタ 古江トンネル南にて測定]



◎3~4°Cの保温効果により、コンクリート強度が15~20%向上

M.K.E 株式会社 エムケーエンジニアリング

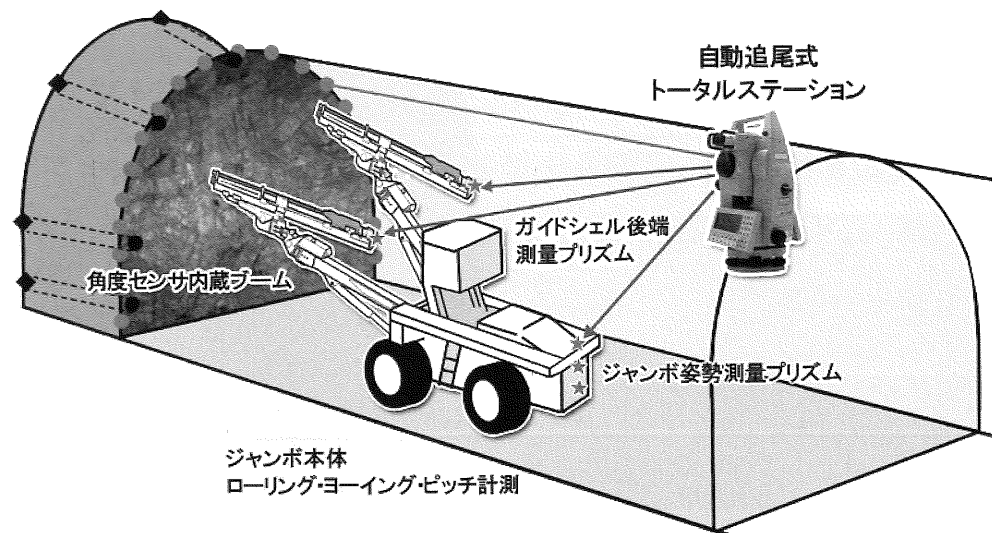
■ 本社 〒553-0006 大阪市福島区吉野1-20-30 阪神野田駅前ビル TEL:06-6443-7060
■ 九州営業所 〒812-0011 福岡市博多区博多駅前2丁目20番1号 TEL:092-409-8008
■ 指定工場 〒919-0441 福井県坂井市春江町定重(森本工業) TEL:0776-51-2410

NETIS登録番号:KK-100049-A

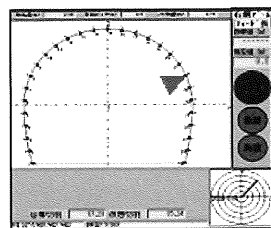
自動追尾式余掘り低減システム

国土交通省 公共工事等における新技術活用システム『NETIS』に登録。

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



■ディスプレイ表示



さく孔位置・さし角表示

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

多数の採用実績および余掘り低減の実績を有する本システムのご用命は

MAC マック 株式会社

〒272-0832 千葉県市川市曾谷8-16-3

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

FRD 古河機械金属グループ
古河ロックドリル株式会社
FURUKAWA

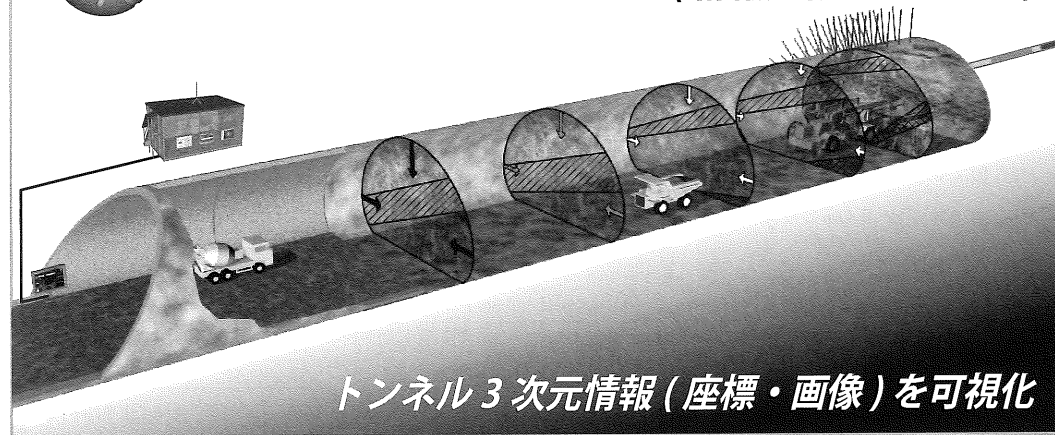
〒103-0027 東京都中央区日本橋1-5-3
特機部

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

トンネルCIM



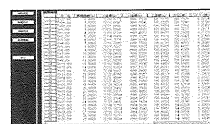
3D可視化プラットフォームによる CIM Communication (情報共有・一元管理)



基礎資料の収集

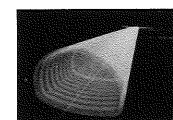
- 1 初期モデルの作成
- 2 施工モデルの作成
- 3 維持管理モデル

モデル作成に必要なデータや管理したい調査データを収集します。



線形情報(設計)

基礎資料をもとにCivil3D/GEORAMAを利用してモデル化を行います。



初期構造モデル

計測データや施工属性データをモデル化に反映し、日々の工事状況を可視化、管理していきます。

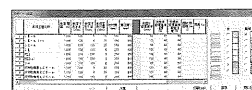
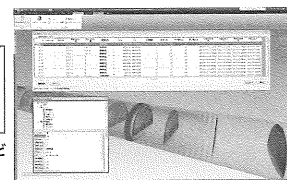


観測データ



A計測データなど

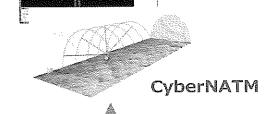
施工時に作成したモデルを利用して維持管理側でも利用します。追加の情報はエクセル等を用いて、その都度更新が可能です。



支保パターン情報(設計)



初期地盤情報モデル



CyberNATM

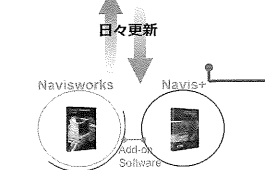


Navisworks

Navis+

Add-on Software

Add-on Software



日々更新

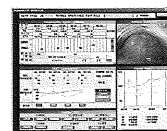


Navisworks

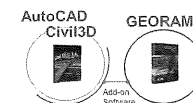
Navis+

Add-on Software

Add-on Software



CyberNATM



AutoCAD Civil3D

GEORAMA

Add-on Software

Add-on Software

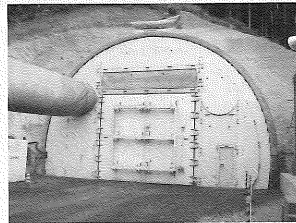
現在稼働中も含めて多数の実績があります。CIMに関する相談は、下記にお問い合わせ下さい。

enzan

株式会社 演算工房

■本社 〒602-8268 京都府京都市上京区智恵光院通中立売下ル山町237番地3
TEL:075-417-0100 FAX:075-417-0200

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



【防音扉】

- HFS型 マークII
- HFS型 マークII 10s
- HFS型 マークII 10c
- HFS型 マークII 15c



防音扉には生産物賠償責任保険(対人)が付いております。

『防音扉マークII』の音響性能

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

『防音扉マークII 10s』の音響性能

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

『防音扉マークII 10c』の音響性能

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

『防音扉マークII 15c』の音響性能

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



【防音壁】 【防音ハウス】 【防音シェルター】 【防音ボックス】



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

『防音パネルSタイプ』の音響性能

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

『防音パネルDタイプ』の音響性能

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

『防音パネルHタイプ』の音響性能

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

防音設備の設計、製造、施工、リース

株式会社フューズ

本社 〒132-0035 東京都江戸川区平井 6-35-5 TEL. 03-3617-8111 FAX. 03-3617-7565
大阪営業所 〒531-0072 大阪府大阪市北区豊崎 3-4-14 TEL. 06-6359-2611 FAX. 06-6359-2288

E-mail: info@fuse-ind.co.jp http://www.fuse-ind.co.jp

建設業登録: 東京都知事許可(般-25)第130153号

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

月刊推進技術 購読のご案内



年間定期購読料金 **12,337円** (1冊1,130円(本体952円 送料102円))

わが国のライフラインなどのインフラ整備またはその再構築や新たな地下空間の築造に、掘削残土量やCO₂排出量を抑制し、なおかつ耐震性の高い推進工法のニーズが高まっています。月刊推進技術では、円滑かつ適正に推進工事を行っていただくため、必要とされる技術情報をわかりやすく解説しております。また、推進関連のニュースはどこよりも早く、かつ情報満載でお届けしており、管路敷設に限らず、地下インフラの再構築の計画・設計・施工の業務にお役立ていただける内容となっております。

申込方法

お申込は、郵便局備え付けの払込取扱票に口座番号: 00130-3-576039 加入者名: 株式会社エルエスプランニングとして、通信欄に購読開始月を明記し年間定期購読料金12,337円をお支払いください。
詳しくは、月刊推進技術編集室にてご案内いたします。

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

検索



月刊推進技術 編集室

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

〒135-0033 東京都江東区深川2-12-4-201 株式会社LSプランニング内
電話 03-5621-7850 FAX 03-5621-7851 E-mail akasaka@lswb.co.jp

推進工事技士試験 過去14年間(平成14~27年度)

試験問題と模範解答・解説集

推進工事技士試験問題研究会編

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

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

2015年度版発売中!!

1. 内容の特長

- 過去14年間の試験「学科」と「実地」問題を一年単位に収録
- 各年度の試験問題と模範解答・解説集は別冊になっており実力テストに最適
- 解説には設問に採用された図書(推進工法体系)の出典箇所を明記

2. 価格

各年度単体に1set 2,000円(消費税・送料込)

3. 申込方法

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

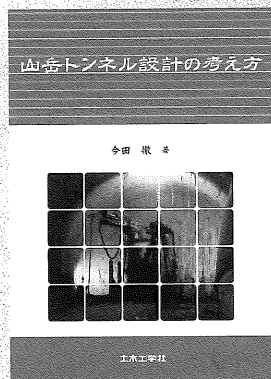
株式会社LSプランニング

http://www.lswb.co.jp/shiken/annai

〒135-0033 東京都江東区深川2-12-4-201
電話 03-5621-7850 FAX 03-5621-7851 E-mail oda@lswb.co.jp

好評発売中

山岳トンネル設計の考え方



東京都立大学名誉教授

今田 徹 著



B5判 183頁 上製本 定価3200円+税

山岳トンネルを設計するうえでの考え方は勿論、設計の留意点などを平易にまとめている。

山岳トンネル工事に携わる諸兄の必携書である。

《主要目次》

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

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



株式会社 土木工学社

〒162-0832 東京都新宿区岩戸町16 メイジャー神楽坂
TEL 03-3267-2888 FAX 03-3267-2807

好評発売中

トンネル発破技術のバイブル

わかりやすい

トンネルの発破技術

監修 山田隆昭 B5判 76頁 定価1,500円+税(送料別途)

火薬類や発破技術の基礎から最新技術まで！
振動や騒音の環境問題を詳述！！

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

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

〈主要目次〉

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

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



株式会社 土木工学社

〒162-0832 東京都新宿区岩戸町16 メイジャー神楽坂
TEL 03-3267-2888 FAX 03-3267-2807

【好評発売中】

セグメントの新技术

監修 小泉 淳

B5判 132頁 本体価格 2,000円 送料 290円

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

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

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

このため「トンネルと地下」の編集委員会では過去10年間に開発され、実用化されたセグメントを中心に開発中のものも含めてアンケート調査を実施し、また、土木学会の年次学術講演会における発表状況も参考にして34件のセグメントを抽出し、「セグメントの新技术」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

きりーとーりー線

《ご注文票》

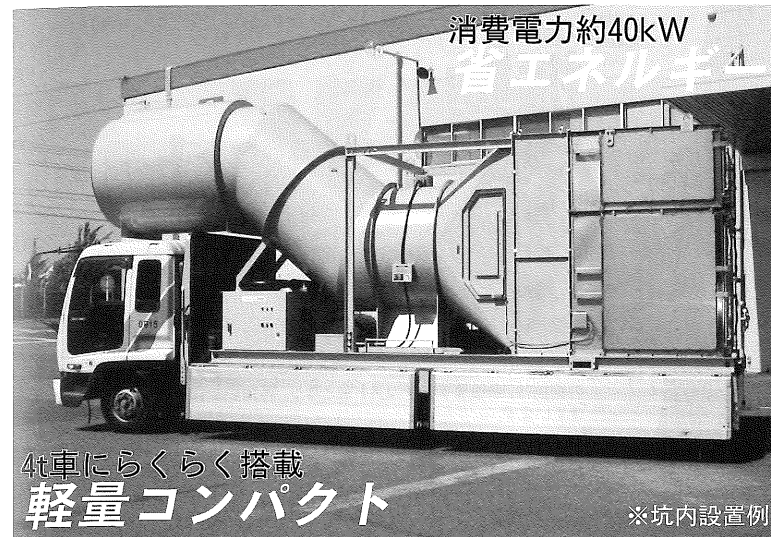
セグメントの新技术 _____ 冊 申込みます。

所在地 〒 ()

事業所名

部 課 名

申込者名



National電気集塵機クリンジェット(2,000m³/minタイプ)

RENT

取扱レンタル商品

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

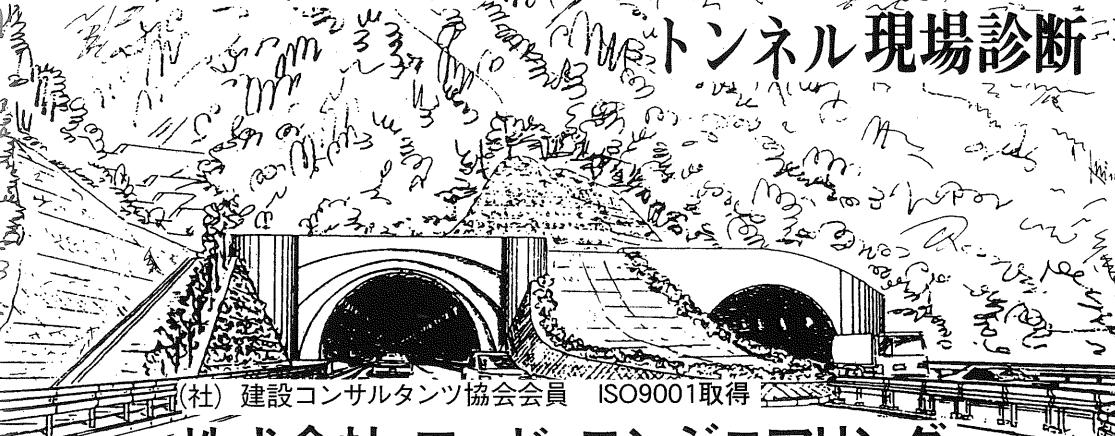
株式会社 レント

特機営業課 担当者 工藤

〒134-0093 東京都江戸川区二之江町1409-1 TEL: 03-5667-7803 FAX: 03-3804-6053

URL: <http://www.rent.co.jp> E-mail: kudo.yuji@rent.co.jp

道路、トンネル設計 (本体外工、換気、防災、照明、施工管理他)

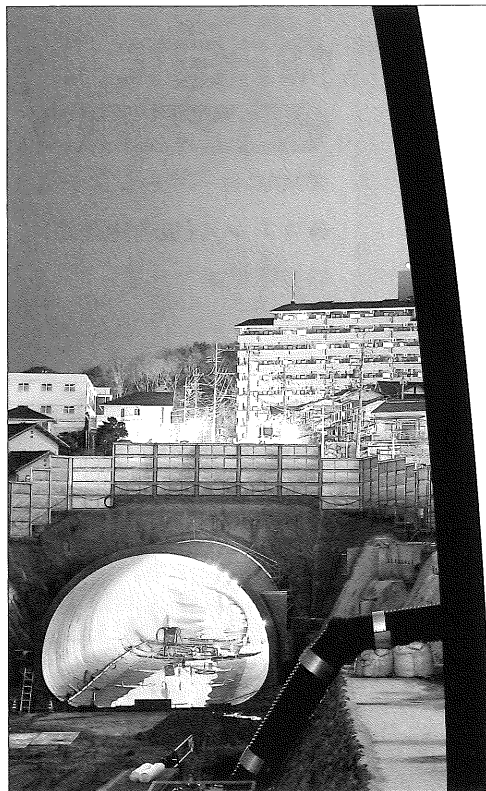


トンネル現場診断

株式会社 ロード・エンジニアリング

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

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



振動 マネージメント ソリューション

近接地に住居が存在する場合、振動の予測と管理を複雑高度な技術に頼らざるを得ません。利害関係は多岐にわたるので失敗をする余地は殆どありません。トンネル、道路、トレンチ、港湾、パイプライン等の掘削は、今後ますますコスト高となり、時間のかかる作業となってきました。

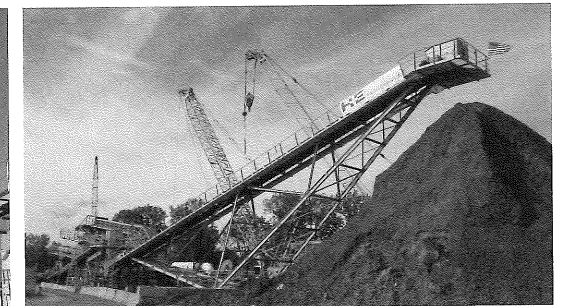
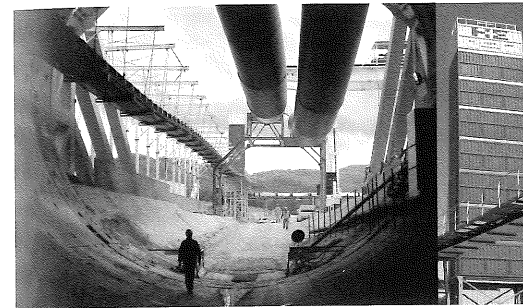
オリカ社は、日々直面するチャレンジに対する方策を見出す為に、全世界の技術研究所と技術力を使って前向きな考え方で取り組んでおります。その成果は電子雷管eDevilや発破デザインソフトであるShotPlus-T また、各種の爆薬に表れておりご理解頂けるものと思えます。

一日でも早く完工する為に、日々の発破のモデル化、計測そして効率化を図っております。オリカ社がどのような形で貴社のお手伝いを出来るかについて orica.com/eDevil にアクセスしてeDevil Case Studyのビデオをご覧ください。

orica.com

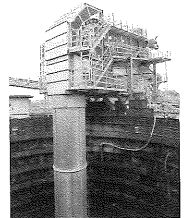


Clever Conveying



| | |
|------------------------|------------------|
| Tunnel Diameter: | 7.10 m |
| Min. Radius: | 1,000 m |
| Minera I: | EPB |
| TBM Supplier: | Herrenknecht |
| Conveyor Length: | 2,500 m |
| Belt Width: | 1,200 mm |
| Capacity: | 2,000 t/h |
| Installed Power: | 2×355 kW |
| Belt Storage Capacity: | 400 m / vertical |

| | |
|------------------------|----------------------|
| Tunnel Diameter: | 11.30 m |
| Min. Radius: | > 457 m |
| Minera I: | EPB, Hard Rock |
| TBM Supplier: | Herrenknecht |
| Conveyor Length: | 5,410 m |
| Belt Width: | 1,000 mm / 1,600 mm |
| Capacity: | 1,200 t/h |
| Installed Power: | 4×160 kW, 2×90 kW |
| Belt Storage Capacity: | 2×300 m / horizontal |



H+E Logistik GmbH
日本代理店



山崎マシーナリー株式会社

担当：富樫

〒438-0216 静岡県磐田市飛平松 216 番地 1
代表 TEL0538-66-1211 FAX0538-66-6410

「デジ ← ・ ぱー」

技術提案・創意工夫
イメージアップ

重機用パトライトシステムで接触災害防止
システムの特徴

重機作業エリアに近づく作業員・現場職員がリモコンボタンを押すと、オペレーターにブザー音とランプ点滅で知らせます。オペレーターが確認し、操作/受信BOXのボタンを押すと重機の積層パトランプが緑色点灯に変わり「一方通行ではない意思の疎通」が迅速にとれます。



機材一式

オペレーター操作状況

重機取付け状況

《取り扱い商品》

- ・ 削孔ツール全般
- ・ 空撮業務 (マルチコプター)
- ・ トンネル出入坑、坑内管理システム
- ・ 振動・騒音自動監視警報システム
- ・ 建設資材全般 (吊鉤金具、コンクリート養生マット、安全用品、工具、他)
- ・ 長尺水抜き鋼管削孔システム
- ・ LED照明
- ・ ダンプ運行管理システム
- ・ 補助工法注入管理



《問い合わせ先》

株式会社アローズ 代表取締役佐川和矢
Mobile: 080-1604-1097 (365days 24h OK)
〒168-0064 東京都杉並区永福2-36-4-107
TEL: 03-3327-7089 FAX: 03-6800-2163
E-mail: ksagawa@arrows-sgw.com
URL: www.arrows-sgw.com

VOLVO 建設機械



高い作業性とクールなデザインが人気
年々強化される排ガス規制にも対応



ボルボ建機社 日本代理店 担当：浅野
(直通) TEL0538-66-1215 FAX0538-66-6162

多目的運搬台車
4次オフロード法取得 レールからの解放



TMS社 日本代理店
担当：富樫



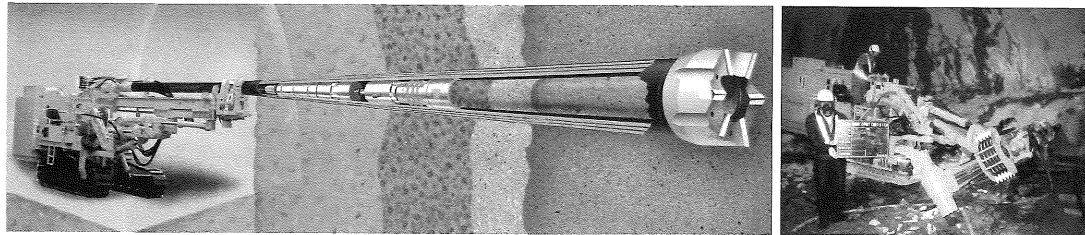
山崎マシーナリー株式会社

〒438-0216 静岡県磐田市飛平松 216 番地 1
代表 TEL0538-66-1211 FAX0538-66-6410

トンネル掘さくの安全施工に アロードリル前方探査システム

パーカッションワイヤーライン サンプリング工法

- 断層破砕帯や湧水をともなう難地層のコアサンプリングをスピーディかつ確実に行なえ、施工時間が大幅に短縮できます。
- 2重管ワイヤーラインサンプリングシステムにより、地質条件にかかわらず、コアサンプルの採取率が従来と比べて大幅に向上しました。



KOKEN 鉦研工業株式会社

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

北海道支店: (011) 561-4961 東北支店: (022) 762-6075
大阪支店: (06) 6385-0350 中国支店: (083) 972-8757

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

<http://www.koken-boring.co.jp>

信越支店: (025) 275-6877 首都圏事業部: (03)-6907-7511
九州支店: (092) 924-5001 海外事業部: (03)-6907-7515

コストダウンを可能にする Kリング・Kプレート

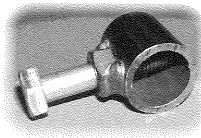
施工方法等詳細については下記までご連絡ください

製造・販売元 **静岡スチール**

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

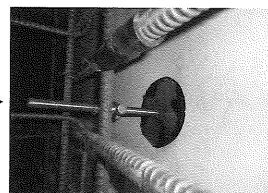
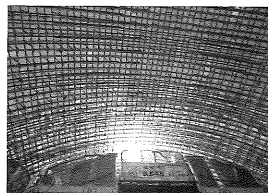
①アーチ鉄筋組立金物 (Kリング) 特許出願中 (特願 2001-309314 号)

トンネル覆工工事におけるアーチ鉄筋組立金物。



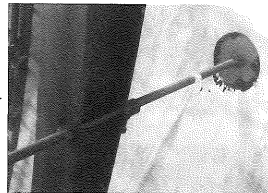
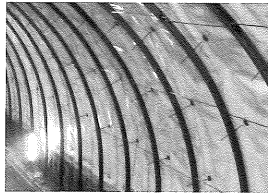
②トンネル覆工鉄筋防水シート接着ジベル筋組立 (Kプレート) 特許出願中 (特願 2015-037746 号)

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



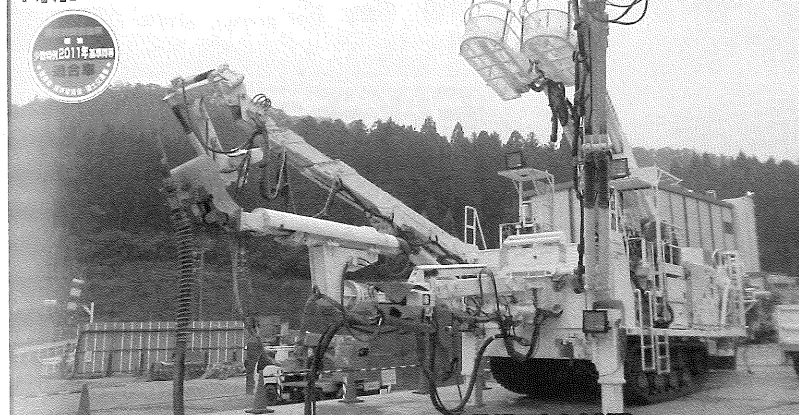
ウォータータイト(全周止水)トンネルにおいて覆工コンクリートの鉄筋を自立させることによって、鉄筋受け架台の鋼製支保工コストの大幅削減を可能にすることができます。

鋼製支保工を設置した場合もKプレートを使用することが可能です。



Kプレートで鋼製支保工を固定。架台の鋼製支保工の固定にも使用できます。

ゴムローラ式エレクトー付 コンクリート吹付システム 「新型スコピオン NSCP I-TN」



安全・操作性を徹底的に追求した次世代型吹付機！
状況に応じキャッチャーやポンプの選択が可能！

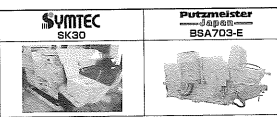
| 項目 | 単位 | 仕様 | 項目 | 単位 | 仕様 | 項目 | 単位 | 仕様 |
|--------|------|------------------|---------------|----|-------|---------------|----|-----------|
| 1 形式 | | NSCP I-TN | 1 作業電源 | 電圧 | 312 | 10 バックホク | | |
| 1 寸法 | mm | 13446 W × 3120 D | 11 吹付ホック | mm | 330 | 11 トラック移動長 | mm | 4400 |
| 1 寸法 | mm | 3120 | 12 プーム伸縮長 | mm | 3300 | 12 プーム伸縮長(上下) | mm | 45-50 |
| 1 寸法 | mm | 48900 H | 13 プーム伸縮長(左右) | mm | 50-55 | 13 プーム伸縮長(左右) | mm | 50-55 |
| 2 質量 | kg | 48900 | 14 プーム伸縮長(前後) | mm | 45-50 | 14 プーム伸縮長(前後) | mm | 45-50 |
| 4 吹付能力 | m³/h | 0.9/1.0 | 15 プーム伸縮長(上下) | mm | 45-50 | 15 コントラクト | mm | 1400-1800 |
| 4 吹付能力 | m³/h | 0.9/1.0 | 16 プーム伸縮長(前後) | mm | 45-50 | 16 コントラクト | mm | 1400-1800 |
| 4 吹付能力 | m³/h | 0.9/1.0 | 17 プーム伸縮長(左右) | mm | 45-50 | 17 コントラクト | mm | 1400-1800 |
| 4 吹付能力 | m³/h | 0.9/1.0 | 18 プーム伸縮長(前後) | mm | 45-50 | 18 コントラクト | mm | 1400-1800 |
| 4 吹付能力 | m³/h | 0.9/1.0 | 19 プーム伸縮長(左右) | mm | 45-50 | 19 コントラクト | mm | 1400-1800 |
| 4 吹付能力 | m³/h | 0.9/1.0 | 20 プーム伸縮長(前後) | mm | 45-50 | 20 コントラクト | mm | 1400-1800 |
| 4 吹付能力 | m³/h | 0.9/1.0 | 21 プーム伸縮長(左右) | mm | 45-50 | 21 コントラクト | mm | 1400-1800 |
| 4 吹付能力 | m³/h | 0.9/1.0 | 22 プーム伸縮長(前後) | mm | 45-50 | 22 コントラクト | mm | 1400-1800 |
| 4 吹付能力 | m³/h | 0.9/1.0 | 23 プーム伸縮長(左右) | mm | 45-50 | 23 コントラクト | mm | 1400-1800 |
| 4 吹付能力 | m³/h | 0.9/1.0 | 24 プーム伸縮長(前後) | mm | 45-50 | 24 コントラクト | mm | 1400-1800 |
| 4 吹付能力 | m³/h | 0.9/1.0 | 25 プーム伸縮長(左右) | mm | 45-50 | 25 コントラクト | mm | 1400-1800 |
| 4 吹付能力 | m³/h | 0.9/1.0 | 26 プーム伸縮長(前後) | mm | 45-50 | 26 コントラクト | mm | 1400-1800 |
| 4 吹付能力 | m³/h | 0.9/1.0 | 27 プーム伸縮長(左右) | mm | 45-50 | 27 コントラクト | mm | 1400-1800 |
| 4 吹付能力 | m³/h | 0.9/1.0 | 28 プーム伸縮長(前後) | mm | 45-50 | 28 コントラクト | mm | 1400-1800 |
| 4 吹付能力 | m³/h | 0.9/1.0 | 29 プーム伸縮長(左右) | mm | 45-50 | 29 コントラクト | mm | 1400-1800 |
| 4 吹付能力 | m³/h | 0.9/1.0 | 30 プーム伸縮長(前後) | mm | 45-50 | 30 コントラクト | mm | 1400-1800 |

T&M Tunnel & Mining

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

〒569-0836 大阪府高槻市唐崎西2-26-1

- ◀東日本カンパニー▶
- 北日本支店
北海道営業所
TEL:0133-72-3715
- 東北営業所
TEL:0197-71-2405
- 東日本支店
TEL:0268-62-1426
- 浜松サービスステーション
TEL:0538-66-0166
- ◀西日本カンパニー▶
- 大阪支店
TEL:072-677-2101
- 九州支店
TEL:0982-26-2111
- 福岡営業所
TEL:092-976-6331



トンネルの掘削や修繕の際に必要に応じて、掘削機に選んだコンクリートポンプの選定が可能です。
当社では、掘削機と選定したポンプの組み合わせにより、掘削機に選んだコンクリートポンプの選定が可能です。
掘削機と選定したポンプの組み合わせにより、掘削機に選んだコンクリートポンプの選定が可能です。

【好評発売中】 わかりやすい 土木地質学

大島洋志 監修
B5判 209頁 本体価格2,500円 円340円

主要目次

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

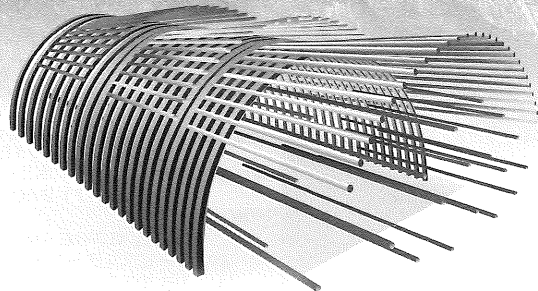
お申し込みは、当社へFAXまたはお近くの書店にてお申し込みください。FAX(03-3267-2807)にてお申し込みの方は、書名・部数・送付先・氏名・電話番号を明記のうえ、お申し込みください。

株式会社 **土木工学社**

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



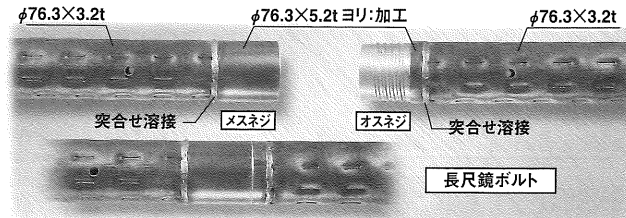
ユニークな発想でVEを提案



NETIS登録申請中

ストロング FIXチューブ(S型)

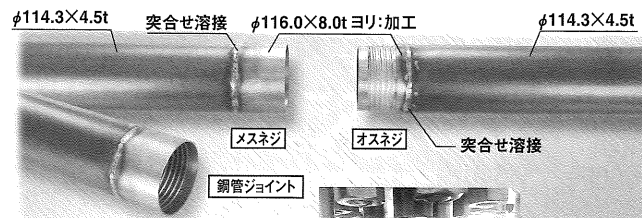
- ※長尺鏡ボルトは凹み面状の鋼管で周辺地山をしっかりとFIXします。
- ※長尺フォアパイリングのねじ強度改善!
- ※鋼製シースで環境に優しい無拡幅施工!



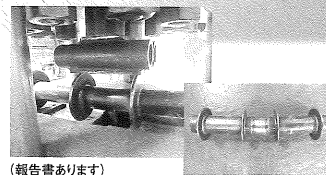
NETIS No.KK-150045-A

AGF-STD工法

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



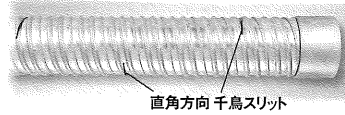
曲げ耐力30%UP!!



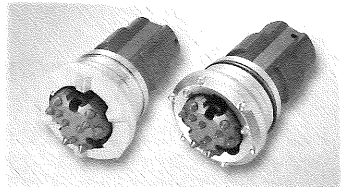
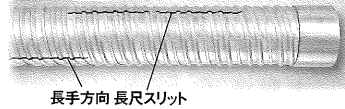
(報告書あります) 接続部の抗折力試験

撤去管の選択

標準タイプ



解体分別タイプ



STD BITS (ロストリング方式)

| 呼称 | 鋼管径 | リングピット径 |
|------|--------|---------|
| 100A | φ114.3 | φ124 |

注入材・その他工法

- ※ウレタン系注入材: NEW-TSRF、NEW-TBU
- ※ウレタン系空洞充填: NTR工法
- ※高速フォアボーリング: SP-IF工法
- ※高速ルートパイル: SPフィックスパイル工法
- ※高速マイクロパイル: SPマイクロパイル工法
- ※φ27.2注入管、自穿孔ボルト各種在庫あり

STE

エステーエンジニアリング株式会社
ST ENGINEERING CORPORATION

〒581-0833 大阪府八尾市旭ヶ丘1丁目108番地2

TEL:072-990-0250 FAX:072-990-0251

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

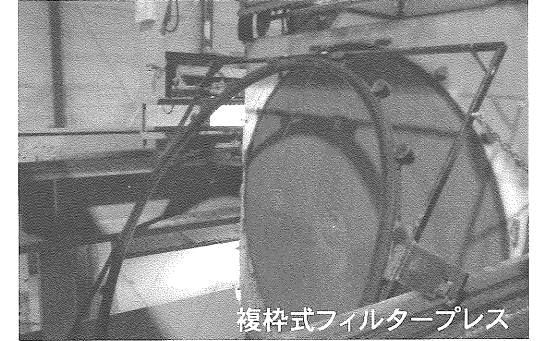
濁水処理からズリ出しまで
トータルにフォローアップいたします

環境にやさしい TWS 型濁水処理シリーズ

小規模のpH中和装置～ダム骨材用の大規模処理装置まで対応します



100.0 m³/Hr 濁水処理設備



複枠式フィルタープレス

【TWS型濁水処理装置の特徴】

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

《汎用車両全般》



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



10T ミキサー



4.5m³ベッセル搭載ダンプ



10T 低床ダンプ



10T ダンプ

各種車両 取り扱っております

株式会社 フジテックス

〒930-0821 富山市飯野 12-1 TEL (076)452-1616(代) FAX(076)452-1617

■巻頭言

先人の水路トンネルと継往開来

嶋田 善多 5

■研究

覆工材料の違いによる変形破壊挙動に関する実験的研究

野城 一栄 53

■施工

新東名高速道路豊田東JCT～浜松いなさJCT間のトンネル群

河東 頼男・立松 和憲・橋爪 智 7

すり出しにカーブベルトコンベヤと竖シュートを用いて周辺環境への影響を低減

—中部横断自動車道 城山トンネル—

竹測 俊和・石丸 智実・吉野 兼央・三好 新 17

長大山岳トンネルにおける生産性向上への取り組み

—急速すり処理システムとロングブーム吹付け機の開発—

小島 英郷・藤内 隆・藤井 攻 25

小口径シールドで複合地盤を長距離掘進

—堺市下水道 百舌鳥深井汚水線(処理場ネットワーク管)—

櫻本 浩・佐藤 幸夫・工内 由香・原 昌広 45

■連載講座

トンネル新技術への挑戦(8)

—曲線函体推進「まがる一ふ工法」—

「トンネル新技術への挑戦」連載講座小委員会 65

■現場だより

「ふかひれ」と「ホヤ」のまち気仙沼より

衣笠 晃司 23

「八十里越」三条市下田地区より

三宅 拓也 24

■語り継ぎ 言ひ継ぎ行かむ

「トンネル屋として楽しんだ40年」徒然にふりかえって

千葉 隆 35

■資料

土木情報

編集部 44

トンネルジャーナル

編集部 52

文献紹介

編集部 64

工法・技術・製品ニュース

編集部 73

トンネルワールドニュース

JTA 国際委員会 74

■会報

会報

日本トンネル技術協会 78

【表紙説明】

新東名高速道路豊田東JCT～浜松いなさJCT間のトンネル群

新東名高速道路豊田東JCT～浜松いなさJCT間55kmは、トンネル延長約16km、橋梁延長約12km、土工量約2,300万m³の大規模事業であり、当該区間には、トンネルが上下線合わせて34チューブある。工事は約10年の歳月を経て、平成28年2月13日に開通した。写真は、開通式の状況である。



〔写真提供：中日本高速道路(株)〕(本文7頁参照)

ヤマモト 大がんき

無騒音 無振動 静かな破碎

超大型油圧破碎機

YTB 1120 トンネルビッカー

ヤマモトロックマシン株式会社

本社 東京都千代田区丸の内2丁目4番1号 丸の内ビル 903区

☎ (03) 3201-0701(代)

工場 広島県庄原市東城町川西424-1 ☎ (08477) 2-2137(代)

仙台営業所 (022) 792-4534(代) 大阪営業所 (06) 6531-1571(代) 高知営業所 (088) 892-4048(代) 九州営業所 (092) 471-0381(代)

最新型・電気集じん機 エコクリーンX

NETIS登録番号:KT-040047-A

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

極板放電方式
放電線をなくし消耗品の削減と断線トラブルの撲滅

少ない消費電力
同クラスのフィルター方式集じん機に比べおよそ1/4

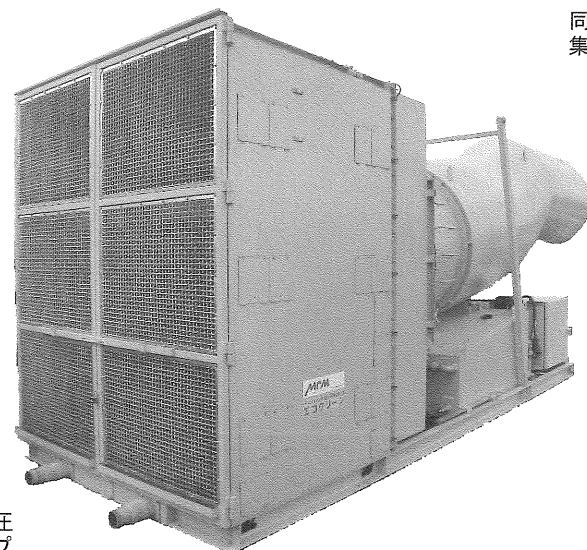
処理風量
750m³/minから3000m³/minまで製作実績あり

コンパクト
同クラス集じん機の中で最小

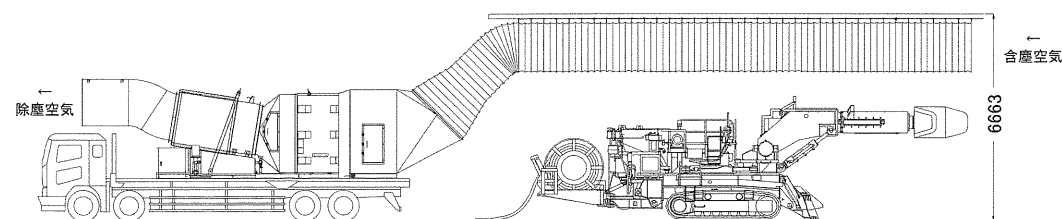
高圧電源分割
集じんユニット毎の個別電圧印加により集じん効率アップ

貯水タンク
自動洗浄が随時可能

オプション
自走クローラ台車
自走ホイール台車
伸縮風管...etc.



伸縮風管(軽量型Φ1500,Φ1600製作実績あり)



伸縮風管接続例

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



株式会社エムシーエム

<http://www.mcmcm.jp>

本社:愛知県名古屋市天白区植田東2丁目1014番地
tel.052-804-9633 fax.052-804-1505
北陸センター:富山県高岡市福岡町下老子43番地2号
tel.0766-64-0351 fax.0766-64-0352

総務委員会広報小委員会誌WGの構成 (五十音順・敬称略)

〔主 査〕

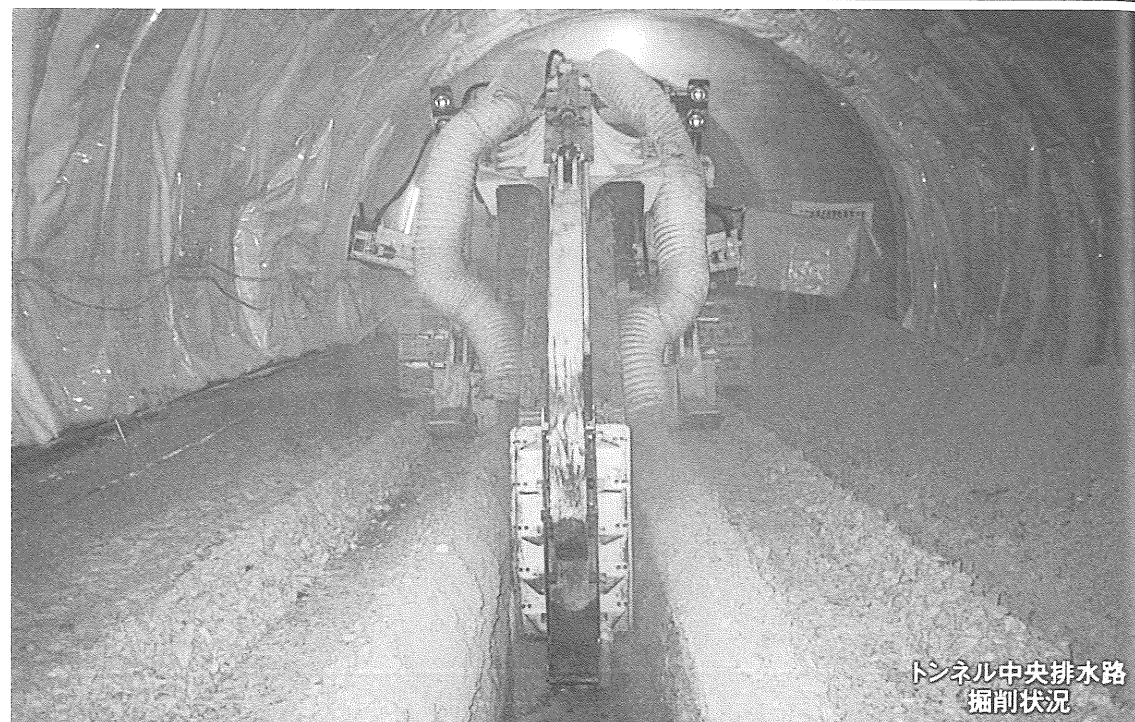
小山 幸 則 立命館大学総合科学技術研究機構客員教授

〔幹 事〕

| | |
|---|---|
| 居 相 好 信 株式会社大林組生産技術本部統括部長 | 藤 井 義 文 株式会社竹中土木常務執行役員 |
| 伊 藤 聡 東京地下鉄株式会社鉄道本部改良建設部 改良建設企画課長 | 松 原 利 之 飛鳥建設株式会社土木事業本部 エンジニアリング部部長 |
| 江戸川 修 一 清水建設株式会社土木技術本部 地下空間統括部長兼機械技術部長 | 森 正 彦 前田建設工業株式会社土木事業本部 トンネル担当部長 |
| 久多羅木 吉治 東亜建設工業株式会社土木事業本部技術部長 | 八 木 弘 株式会社高速道路総合技術研究所参与(外環担当) 道路研究部トンネル研究担当部長 |
| 見 坂 茂 範 国土交通省大臣官房技術調査課技術企画官 | 吉 富 幸 雄 大成建設株式会社土木本部土木技術部 トンネル室参与 |
| 西 岡 和 則 鹿島建設株式会社土木管理本部統括技師長 (兼)土木管理本部土木工務部トンネルグループ長 | 渡 邊 修 独立行政法人鉄道建設・運輸施設整備支援機構 鉄道建設本部計画部計画課長 |

トレンチャー

硬質地盤の溝掘はトレンチャーをお試し下さい。



トンネル中央排水路掘削状況



施工例

トレンチャーによる施工

トレンチャーの性能・諸元

| トレンチャーの種類 | TRS-985 | 1175/D6 | M3 |
|--------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| メーカー名 | テスメック | テスメック | テスメック |
| 掘削幅 (cm) | 60 | 75 | 90 |
| 掘削岩の硬さ(最大) | 500kg/cm ² | 700kg/cm ² | 800kg/cm ² |
| 重量 (t) | 36 | 40 | 40 |
| 長さ (m) | 13.0 | 10.8 | 11.2 |
| 幅 (m) | 2.5 | 3.2 | 2.67 |
| 高さ (m) | 3.30 | 2.86 | 3.41 |
| エンジンの出力 (PS) | 300 | 402 | 350 |

※掘削岩の硬さは目安になります。詳細はご相談ください。

編集委員会の構成 (五十音順・敬称略)

〔編集委員長〕

小山 幸則 立命館大学総合科学技術研究機構客員教授

〔編集参与〕

| | |
|---|---|
| 大島 洋志 国際航業株式会社技術本部最高技術顧問 首都大学東京客員教授 | 真下 英人 (前)国土交通省国土技術政策総合研究所 道路構造物研究部長 |
| 木谷 日出男 国際航業株式会社フェロー技術本部 土地地盤研究担当 | 松浦 将行 地方共同法人日本下水道事業団理事 |
| 今田 徹 東京都立大学名誉教授 | 山田 隆昭 東日本高速道路株式会社参与 (シニアエキスパート) |

〔委員〕

| | |
|---|--|
| 砂金 伸治 国立研究開発法人土木研究所つくば中央研究所 道路技術研究グループ(トンネル)首席研究員 | 八木 弘 株式会社高速道路総合技術研究所参与(外環担当) 道路研究部トンネル研究担当部長 |
| 家壽田 昌司 東京都下水道局建設部設計調整課長 | 焼田 真司 公益財団法人鉄道総合技術研究所 構造物技術研究部トンネル研究室首席研究員 |
| 清水 満 東日本旅客鉄道株式会社構造技術センター次長 | 安田 智 東京都交通局建設工務部計画改良課長 |
| 中谷 誠一 東京都水道局建設部工務課長 | 山本 武史 独立行政法人鉄道建設・運輸施設整備支援機構 鉄道建設本部工務部工務第一課総括課長補佐 |
| 平野 隆 東京地下鉄株式会社鉄道本部改良建設部 技術基準担当課長 | 吉本 正浩 東京電力パワーグリッド株式会社 工務部管路土木技術担当 |

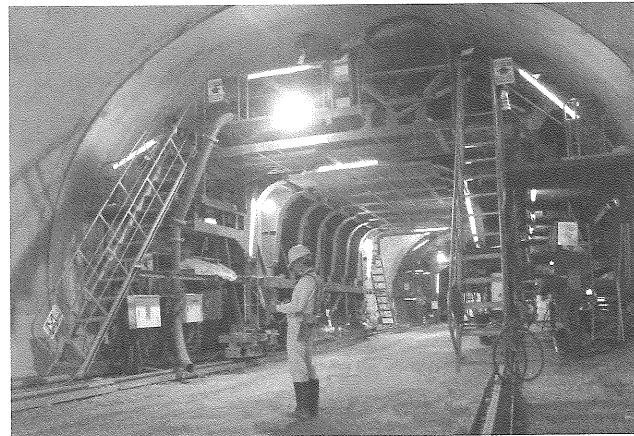


●本社/営業部 〒381-0101 長野県長野市若穂綿内7484
☎(026)213-7024(代) FAX(026)282-5803 <http://www.wkk.co.jp/>

特許
取得済

表面温度センサ!

【スマートセンサ型枠システム・セントル仕様】
無線なので打設毎の配線手間が不要!



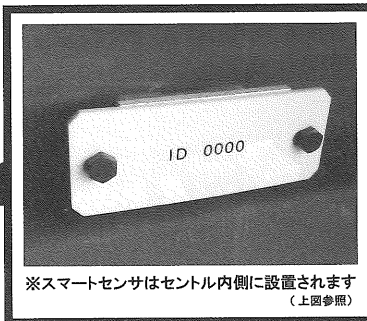
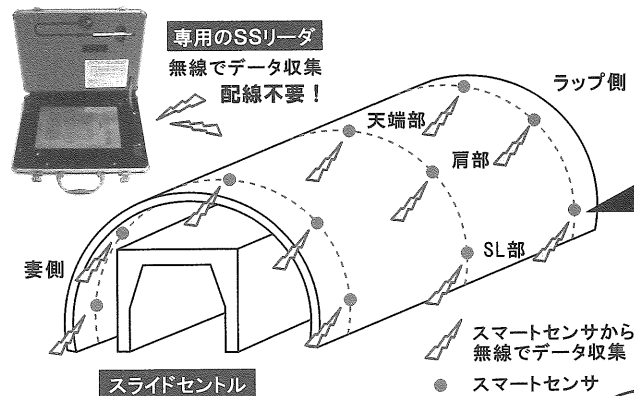
スマートセンサ型枠システム 【セントル仕様】の特長

コンクリート表面温度を 自動計測!

コンクリートの表面温度や型枠周辺温度、
打設開始・脱型時期を記録します。

専用リーダーでデータを 読み取り!

表面温度や推定強度はグラフやカラー
マッピングで解りやすく表示され、躯体の
状態を現場でリアルタイムに把握すること
ができます。

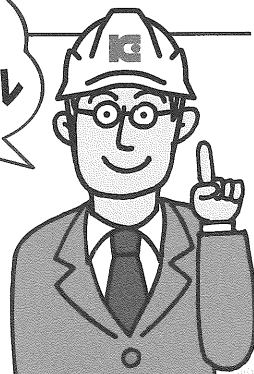


※スマートセンサはセントル内側に設置されます
(上図参照)

NETIS標準仕様見積り単価

- スマートセンサシステム
(1セット=1断面5台×3列=15台) * セントル本体は別途
- ・ 使用料金 … ~~140,000円~~ → **90,000円** / 打設回数 (基本料金含む)
- ・ 取付け・調整料金 … 400,000円/回/1セット (センサの穴あけ別途)
- ・ 取外し・校正料金 … 400,000円/回/1セット (センサ部分の穴埋め別途)
- SSリーダー
- ・ 使用料金 …………… 2,500円/日 (基本料金含む)
- ・ 諸経費・一般管理費 (技術指導・動作確認含む)

使用料金がより
リーズナブル
になりました!



児玉株式会社 & 東京大学 大学院工学系研究科 建築材料研究室

共同研究開発 特許製品

児玉株式会社エンジニアリング事業部

〒812-0042 福岡市博多区豊2-4-23 TEL: 092-474-5360

Email: engi.office@kodama-boss.jp

掲載頁
7

新東名高速道路豊田東JCT～浜松いなさJCT間のトンネル群

中日本高速道路(株) 河東 頼男

2016年2月13日に開通した新東名高速道路豊田東JCT～浜松いなさJCT間55kmは、トンネル延長約16km、橋梁延長約12km、土工量(切土とトンネルずり)約2,300万m³の大規模事業であり、約10年の工事期間を要して建設された。当該区間には、トンネルが上下線合わせて34チューブある。本稿では、トンネル延長が2,529mと当該区間で最長で、粘土質の大規模な地質不良部が出現し縫い返しや早期閉合などの対策を実施した鳳来トンネル、覆工コンクリートの品質向上のため特殊型枠を使用し、その検証を行った雁峰第一トンネル、重金属の含有が確認されたトンネルずりを処理した額堂山トンネルの事例について紹介する。

Tunnels between the Toyota-Higashi Junction and the Hamamatsu-Inasa Junction on the Shin-Tomei Expressway
By Yoriko Kato, Central Nippon Expressway Company Limited

The 55km stretch between the Toyota-Higashi Junction and the Hamamatsu-Inasa Junction on the Shin-Tomei Expressway which opened on 13th February 2016 is a large-scale project composed of approximately 16km in total length of tunnels, 12km in total length of bridges and 23 million cubic meters of earthworks (cut slope and tunnel muck). That took approximately 10 years to construct. Tunnels in this section consist of 34 tubes both inbound and outbound. This report presents three construction cases: the Horai Tunnel, the longest tunnel in this section of 2,529m which was built taking measures such as re-lining and early-building-invert against huge poor ground with cohesive soil, the Gambo Dai-ichi Tunnel in which a special frame was used in order to verify to improve quality of lining concrete, and the Gakudo-san Tunnel whose muck contained heavy metals to be treated.



写真は開通式の状況

掲載頁
17

ずり出しにカーブベルトコンベヤと竖シュートを用いて周辺環境への影響を低減 —中部横断自動車道 城山トンネル—

国土交通省 竹淵 俊和

本工事は、全長2,087mの城山トンネルのうち1,574mを施工するものである。本トンネルは、現道から高い位置に計画されているため、沢沿いに延長約350mの仮橋を坑口まで設けて工事を進める計画であった。また、現道出入口付近に民家が多いため、民家に対して騒音・振動に配慮した施工が必要であった。本稿では、工事による周辺環境への影響を最小限にするために、ダンプトラックによるずり出しからカーブベルトコンベヤと竖シュートを用いたずり出し方式を採用するに至った施工計画・施工設備面での工夫や取組みについて報告する。

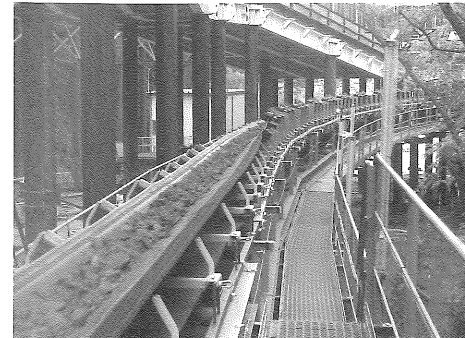
Reduce the Impact on the Surrounding Environment Using Curved Belt Conveyor and Vertical Chute for Mucking—the Chubu Odan Expressway the Shiroyama Tunnel—

By Toshikazu Takbuchi, Ministry of Land, Infrastructure, Transport and Tourism

These works were to construct a 1,574m section of the Shiroyama Tunnel (total length: 2,087m).

As alignment of the Shiroyama Tunnel is high from existing road, temporary bridge was planned to construct from existing road to a tunnel portal along valley in order to build the tunnel. As there were also many private residences near the entrance to the temporary bridge, it was essential to consider the effects of noise and vibration on these.

This report contains information on measures in construction planning and construction facilities for mucking with the use of curved belt conveyor and a vertical chute instead of muck transportation by dump trucks in order to minimize the impact from the works on the surrounding environment.



写真はカーブベルトコンベヤ全景

長大山岳トンネルにおける生産性向上への取組み

—急速ずり処理システムとロングブーム吹付け機の開発—

清水建設(株) 小島 英郷

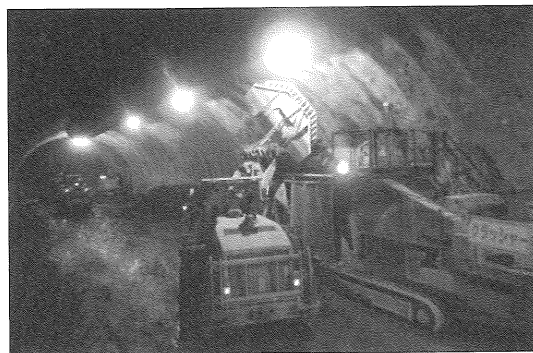
近年の山岳トンネル工事では、社会的要請により早期の供用開始を目指して工事施工の生産性向上が強く求められている。とくにトンネルが長距離・大断面化するほど、工程遅延リスクを回避するための施工技術が重要となってくる。連続ベルトコンベヤ方式によるずり出し設備をもつ、発破工法でのトンネル現場に対して、急速ずり処理システムを導入した。また、地山状況が硬軟に変化するトンネル現場にロングブーム仕様の吹付け機を配備した。これらの新システムにより、長距離・大断面トンネルでの地山状況の変化に柔軟に対応できる施工技術確立した。

Improve Productivity in Long Mountain Tunnel—Development of Rapid Mucking System and Shotcrete Machine with Long Spraying Boom—

By Hidesato Kojima, Shimizu Corporation

It has been strongly required to improve productivity in recent mountain tunnel works with the aim of early operation start due to the demands of society. In particular, the longer and larger the tunnel, the more important the construction techniques to avoid the process delay risk become.

A rapid mucking system was installed for the tunnel, which was excavated using the blasting with mucking continuous belt conveyor. The shotcrete machine with long spraying boom was also deployed at another tunnel site where ground conditions changed to hard and soft. The construction techniques that can respond flexibly to changes in ground conditions in a long and large tunnel have been established with these new systems.



写真はS-マックシステムの実施状況

小口径シールドで複合地盤を長距離掘進

—堺市下水道 百舌鳥深井汚水線(処理場ネットワーク管)—

堺市 櫻本 浩

堺市上下水道局では、3か所の下水処理場をネットワーク管により接続する計画にもとづき、処理区の一部を切替える処理区再編用の堺市百舌鳥深井汚水線の工事に着手した。本工事は石津下水処理場と泉北下水処理場をつなぐシールドトンネル工事で、仕上がり内径1,500mm、シールド外径φ2,130mm、延長3,711mである。シールドが通過する地盤は第四紀更新世の砂、礫、粘土が互層となっている複雑な地層である。狭小空間かつ長距離を掘進するため、シールドなどの耐久性、急曲線部の施工性および坑内作業の安全性を確保するための対策を施したことを中心に記述している。

Small Shield TBM Took Long Excavation in Composite Ground—Sakai City Sewerage Mozu-Fukai Sewer Line (Treatment Plants Network Lines)—

By Hiroshi Sakuramoto, Sakai City

The Sakai City Waterworks and Sewerage Bureau began works on the Sakai City Mozu-Fukai sewer line to reorganize sewer service areas based on a plan to connect three sewage treatment plants with network lines. These works are to build a shield tunnel to link Ishizu and Senboku Sewage Treatment Plants. The Sewer line had a total length of 3,711m and an inner diameter of 1,500mm that was built by a shield TBM with outer diameter of 2,130mm. The ground through which the shield TBM passed was alternated sand, gravel and clay ground Pleistocene. Various measures were taken to secure the durability of the shield TBM, etc., workability in acute curves and safety of work inside the tunnel as tunneling work were conducted in a small space over a long distance.



写真はシールド坑内全景

覆工材料の違いによる変形破壊挙動に関する実験的研究

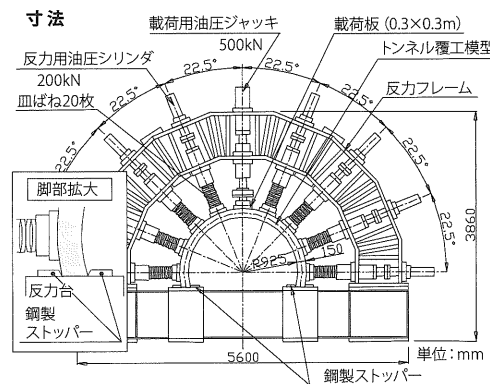
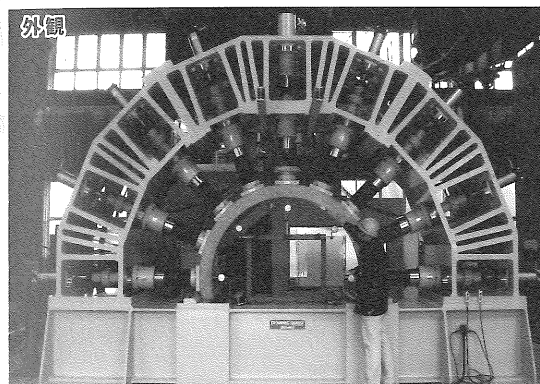
(公財)鉄道総合技術研究所 野城 一栄

種々の材料からなる山岳トンネルの覆工の模型実験を行った。無筋コンクリート覆工は、比較的大きな変位まで荷重の低下がなくアーチ構造の優位性が確認されたが、最大荷重が発生するよりも前の段階で覆工内側に圧縮が生じた。れんが覆工は、無筋コンクリート覆工と比べて剛性や耐荷性能が小さく、変形が大きくなると層間ひび割れが発生することがわかった。短繊維補強コンクリート覆工は、剛性や耐荷性能は無筋コンクリート覆工とほぼ同じであるが、圧縮を生じた箇所での剥落抵抗性に優れていることがわかった。RC覆工は、剛性や耐荷性能は無筋コンクリート覆工に比べて大きくなり、鉄筋が降伏したあとも荷重を保持できるが、その一方で、せん断破壊のモードとなりうるということがわかった。

Experimental Study on Deformation and Failure Behavior of Mountain Tunnel Linings Which Consist of Various Materials

By Kazuhide Yashiro, Railway Technical Research Institute

Authors performed model tests of mountain tunnel linings that consist of various materials focused on deformation and failure behavior. It was found that plain concrete lining does not show decreasing of load until it receives large deformation, whereas cracks occur and structural stiffness decreases, and it was found that plain concrete lining has good deformability. It was found that brick lining has smaller structural stiffness and bearing capacity than those of plain concrete lining, and cracks occur between the two beds of bricks after it receives large deformation. It was found that structural stiffness and bearing capacity of short-fiber-reinforced concrete lining are almost same as those of plain concrete lining; however, the short-fiber-reinforced concrete lining has good untispling ability at the part where compressive bending failure occurs. It was found that structural stiffness and bearing capacity of reinforced concrete lining are larger than those of plain concrete lining, and reinforced concrete lining are able to support load after yielding of its rebar, on the other hand, it was also found that shear failure becomes easy to occur by improving ending capacity.



図は覆工模型実験装置

巻頭言

(題字 佐藤信彦会長)



先人の水路トンネルと継往開来

電源開発(株)執行役員土木建築部長(本協会監事)

鳥田善多

当社を代表する佐久間ダムも今年で完成60周年となり、当社設備も順次還暦を迎えつつある。先人の築いた発電資産を次世代に健全なかたちで「継承」していくうえで、「維持管理」の位置づけは年々重要性を増している。とくに土木設備は、それ自体が自然環境や社会環境などの「属地的条件」を満足するように築かれた単品生産品であることから、各々異なる特徴(個性)を有している。人間と同様で、腐食や経年変化(老化)による障害、災害といった事故による損傷(怪我)、たまにぐれて設備支障(痼疾)を起こしたりする。その維持管理においては設備の特徴を十分把握して、子育て同様、愛情や思いやりをもって設備を見守りながら、支障を来す前の予兆をいかに早く発見するかが重要となる。維持管理を担う技術者には、設備の生い立ちを示す工事記録や既往症のカルテにあたる補修履歴などに精通していることが求められる。

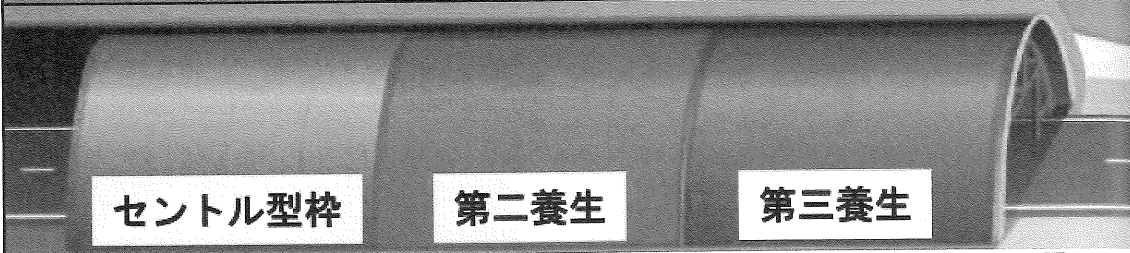
電力の水路トンネルにおける留意点としては、道路トンネルとは異なり巻立てコンクリートに貯水池との落差分の水圧(内圧)が作用するトンネルがあること、水路内点検は水車発電機へ導水する河川水を常時流しているため、数年に一度の発電機器のオーバーホールにあわせてトンネル内を排水して実施することが挙げられる。点検および補修の工期は、このオーバーホール期間内に実施することが制約条件となる。

最近では設備経年化の影響もあり、無巻きや矢板工法によるトンネルのトラブルと向き合う機会が増えている。例えば、新潟県内にある水力発電所で発電機器のオーバーホールにあわせて無巻きの水路トンネルを排水して点検したところ、天端から大きな岩塊(約20m³)が崩落しているのが確認された。このような水路トンネルは支川からの集水を目的としたものが多く、交通のアクセスも悪く重機の搬入も難しい場所に位置しており、現在も復旧工事に苦戦している次第である。私自身、トンネル建設の経験という、35歳ごろに揚水発電所増設現場でNATMの水路トンネルを担当した程度である。現役

管理しながらコンクリートを育てる

NETIS登録No.CB-120032-A

コンクリートトータル養生システム



加温しながら初期強度を上げる
加温養生(型枠)

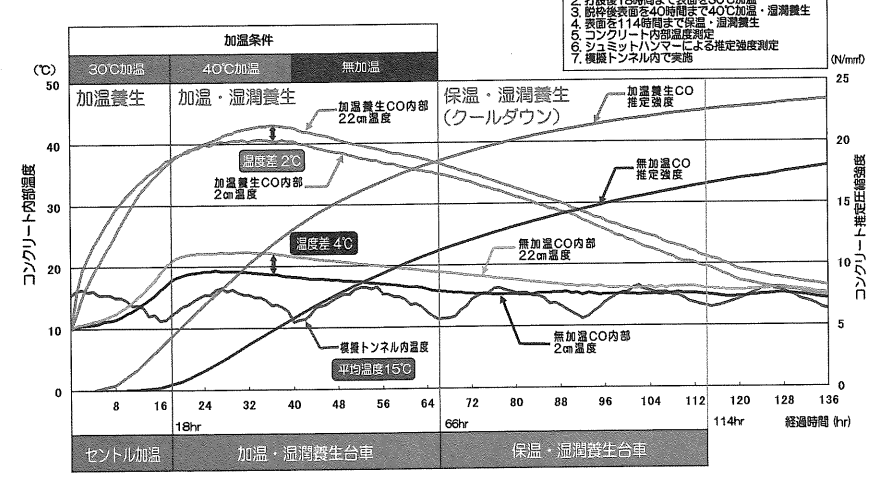
加温と湿潤を同時に行い品質向上
加温・湿潤養生

保温湿潤しながら急激な変化を防ぐ
保温・湿潤養生

コンクリートの強度を予測管理
養生管理システム

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

◆覆工コンクリート温度・圧縮強度(推定)の推移



岐阜工業株式会社

【製作・販売協力】
TECHNO テクノプロ株式会社

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

林 益 會 社 東 宏

世代で矢板工法や無巻きトンネルの施工経験者はほとんどいない状況といえる。こういった状況を踏まえて維持管理面で以下のことを考えさせられた。

- ① 水路トンネルの内部点検は数年に一度の頻度であり、いかに岩盤状況を迅速かつ的確に把握し次回点検に情報を引き継ぐか。
- ② トンネル建設の経験が少ない若手社員に、無支保状態のトンネルへの安全なアプローチ方法をいかに教えていくか。

岩盤状況の調査についてはICT技術を活用すべく、従前の目視調査に加えて携帯式3Dレーザー測量スキャナーを用いてデータ情報処理の迅速化および高度化を進めている。また、当社の保有する無巻き水路トンネル(総延長48km)の総点検に着手した。

若手社員の現場感覚を磨くには、現場での施工管理などを通して「経験工学」として学ぶことが基本であるが、水路トンネルの建設というフィールドが少なくなるなか、いかに実学を習得させるかが課題となっている。まずは工事記録を読み返すとともに、トンネル技術が測量や吹付けの技術進歩により施工内容が大きく変わったことから、過去の工法に関する技術史といった知識を身につけていくことが基本と考える。日常の設備管理のなかで、トンネルの健全性を確保させるべく非破壊検査やトンネル断面削孔など各種調査から具体的な補強方法の検討や施工を通して、技術を着実に磨いていくことが重要である。また既設の資産価値を高める再開発の具体化に向けて、例えば貯水池堆砂対策としての排砂トンネルや異常豪雨に対処する増設洪水吐トンネルといった設備増強計画を企図し、若手の技術習得の場を設けていかなければならない。

最後に、私自身、「継往開来」(先人の事業を受け継ぎ、発展させながら未来を切り開くこと)という語を強く意識するようになった。発電施設を含む社会資本の耐用年数は長く、半永久的に使用される。その施設規模は大きく、性格上自然外力を直接受け止めるため、その機能を逸失して支障を来した場合には、公衆被害、社会経済や自然環境に及ぼす影響は甚大で、設備管理に携わる技術者の責任はきわめて重い。自然外力の巨大化や発生頻度の増加といった状況において、非常時の即応力および技術力を問われるなか、社会資本に携わる技術者は先人の築いた「有形」の土木資産を受け継ぎ、更に資産価値を高めて次世代につないでいくには「無形」の資産である技術の研鑽に努めなければならぬと日々痛感する次第である。

施工

新東名高速道路豊田東JCT～浜松いなさJCT間のトンネル群

中日本高速道路(株)名古屋支社環境技術管理部技術管理チーム 河東 頼 男
 中日本高速道路(株)名古屋支社豊田工事事務所岡崎額田工事区 立松 和 憲
 中日本高速道路(株)名古屋支社豊川工事事務所豊川鳳来工事区 橋爪 智

1 はじめに

2016(平成28)年2月に開通した新東名高速道路豊田東JCT～浜松いなさJCT間(以下、「新東名愛知県区間」)55kmは、トンネル延長約16km、橋梁延長約12km、土工量(切土とトンネルずり)約2,300万 m^3 の大規模事業であり、約10年の工事期間を要して建設された。当区間には、トンネルが上下線合わせて34チューブあり、道路延長に占めるトンネル延長比率は29%に達する。

本稿では、粘土質の大規模な地質不良部が出現し、縫返しや早期閉合などの対策を実施した新東名愛知県区間で最長(2,529m)の鳳来トンネル、覆

工コンクリートの品質向上のため特殊型枠を使用し、その検証を行った雁峰第一トンネル、重金属の含有が確認されたトンネルずりを処理した額堂山トンネルの3トンネルについて、設計、施工の状況を紹介します。開通後の状況を報告する。

2 事業概要

2-1 路線概要

新東名愛知県区間は、上下線合わせて4車線で整備され、平面線形は最小半径3,000m、最大縦断勾配は2%で設計されている。東名高速道路に対して内陸側に位置することから構造物の構成は表-1に示すとおり、構造物比率が高い路線となっ

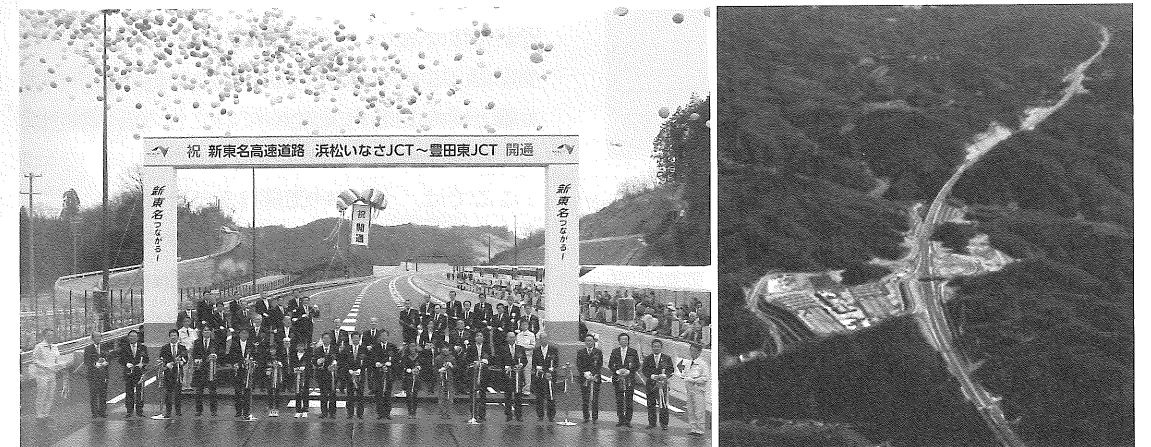


写真-1 開通の状況

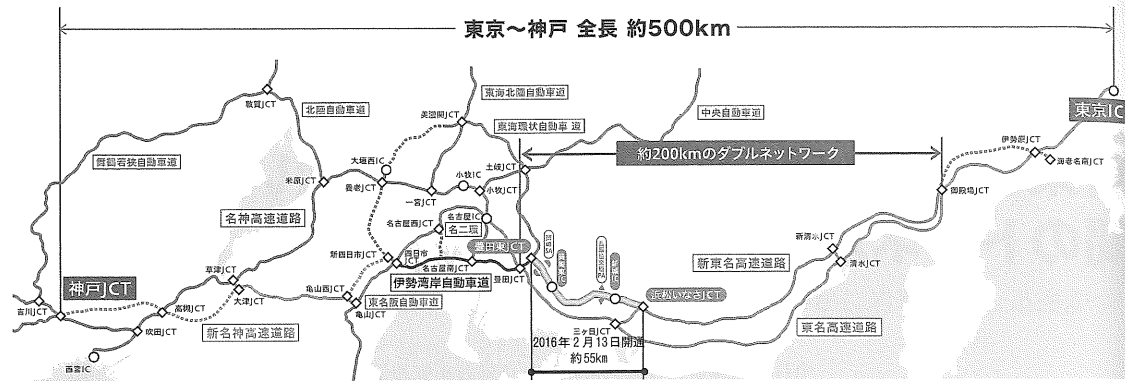


図-1 新東名・新名神高速道路の路線図

表-1 構造物比率

| 項目 | 延長 | 比率 | 備考 |
|------|--------|-----|--------|
| 土工 | 26.9km | 49% | |
| 橋梁 | 11.9km | 21% | 39橋 |
| トンネル | 16.4km | 30% | 34チューブ |
| 合計 | 55.2km | | |

表-2 期待される整備効果

| 整備効果 | 内容 |
|---------------------|---|
| 東名の慢性的な渋滞の大幅な緩和 | 東名では年間600回程度の渋滞が発生しているが、新東名愛知県区間の開通による交通の分散によって、大幅な渋滞緩和が見込まれ、移動時間が短縮するとともに交通事故の減少が期待される。 |
| 大規模災害時の早期復旧への貢献 | 東名より内陸部に位置する新東名は、東名より山側を通過するため地震の被害を受けにくく、また東名とダブルネットワークを形成することにより、被災地への進出の際、リダンダンシーが確保され、災害時の救援・救護活動、早期復旧を支援できる。 |
| 大規模更新工事による交通への影響の軽減 | 大規模更新工事を実施するには、長期間にわたる工事車線規制が必要となるため、渋滞の発生が予想される。新東名が東名で工事規制が実施される際の代替ルートとして機能することで、交通への影響軽減が期待される。 |
| 地域の観光や産業への貢献 | 新東名愛知県区間の開通により、奥三河地域への日帰り観光圏域人口が約400万人増加すると予測されている。観光客の増加による、地域の活性化が期待される。 沿線地域の利便性が向上し、企業立地の増加および地域産業の更なる活性化が期待される。 |

いる。

2-2 期待される整備効果

東名愛知県区間の開通によって、すでに開通している静岡県区間と合わせ、東京～名古屋間のうち約200kmのダブルネットワークを形成した。新名神高速道路とともに、関東～中部～関西の移動時間を大幅に短縮するほか、日本の大動脈として、人や物の流れをスムーズにし、三大都市圏の連携を強化するなど、表-2のような整備効果が期待される。

3 トンネルの設計・施工

今回開通した新東名愛知県区間には17か所(上下線合計34チューブ)のトンネルがあり、各々工夫や新たな挑戦を行って完成に辿り着いた。ここでは、3つのトンネルについて設計、施工の状況を報告する。

3-1 三波川帯低強度地山地帯の掘削—鳳来トンネル—

鳳来トンネルは、トンネル壁面離隔が19mの双設の山岳トンネルで、中央構造線の南側1.5kmに位置し、地質は中生代白亜紀前期の三波川帯に

属している。図-2に上り線の地質縦断図を示すが、その岩質は泥質の黒色片岩、塩基性の緑色片岩が主体であり、全線にわたって湧水量は比較的小さい。この中のSTA.491+20付近からトンネル軸方向約730mにわたって自立性の低い粘土質の大規模な地質不良部が出現した¹⁾。

ここでは、土かぶり高が約150mと大きく、地山強度比が1を下回り押し出し性を有する低強度地山の山岳トンネル掘削の施工状況について報告する。

3-1-1 補強工およびパターン変更による対応

泥質な黒色片岩が占めるSTA.491+40(TD.587)付近は、当初設計では表-3に示すC II-a-B(H)、D I-a-B(H)を用いての補助ベンチ付き全断面工法の爆破掘削となっていた。STA.490+

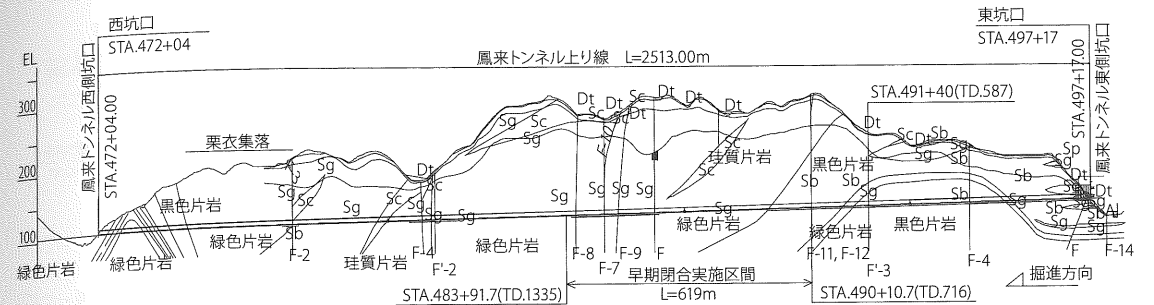


図-2 地質縦断図(鳳来トンネル上り線)

表-3 設計時の標準支保パターンC II, D I

| 支保パターン名 | C II-a-B(H) | D I-a-B(H) |
|----------------------|---------------------|------------------|
| 1 掘進長 | 1.20m | 1.00m |
| 変形余裕量 | — | — |
| 吹付け厚 | 10cm | 15cm |
| 吹付け圧縮強度 (f_{ck}) | 36N/mm ² | |
| 鋼アーチ支保工 | H-125 | H-150 |
| ロックボルト | L=4m, 290kN, 14本 | L=6m, 290kN, 17本 |

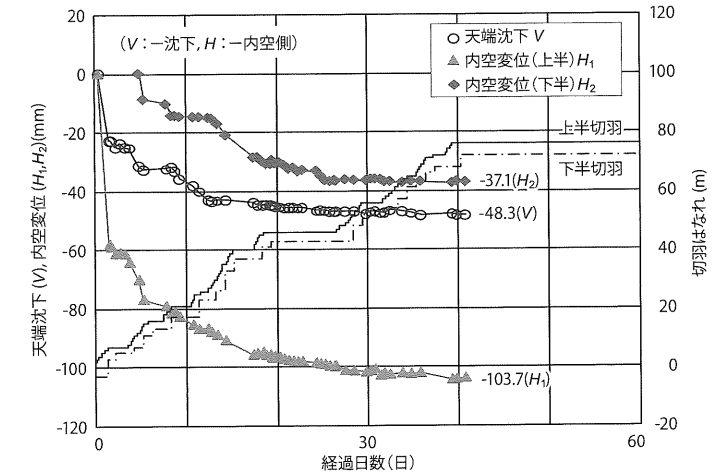


図-3 トンネル変位経時変化

80付近より滑石(粘土)を伴う変質帯が出現し、内空変位の初期変位速度は10mm/dを超えるようになった。このため、既掘削部はロックボルトの増打ちによる補強工を、新規掘削部は変形余裕量を100mmや150mmとするD IIパターンを設計し対応した。

しかし、変位は収まらず、図-3に示すようにD II部の初期変位速度は20mm/dを超え、トータルでトンネル内空変位も100mmを超えるようになった。その後も収束傾向はみられず、必要内空断面の確保が困難となり、トンネル支保構造の一部は変状し、縫返し施工を余儀なくされた(写真-2)。

3-1-2 早期閉合による施工

吹付けコンクリートに作用する土圧を推定、厚肉円筒理論を用いて必要支保耐力を算定し、図-4に示す高耐力のトンネル支保構造(D II-a-B(H)C))を設計した。さらに、変位抑制のためインバート早期閉合による対策を検討した。

早期閉合距離 L_i は、上半切羽から1D(Dはトンネル掘削幅)以内の $L_i=9\sim 12m$ である。早期閉

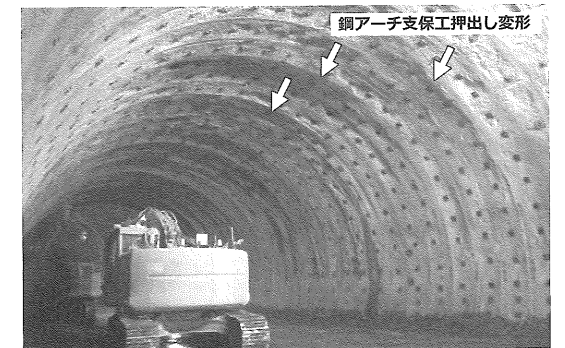


写真-2 トンネル支保構造の変状

合施工単位 L_c は、施工性と施工速度を考慮し、 $L_c=3m$ とした。上・下半掘削は、補助ベンチ付き全断面工法の爆破掘削とし、1掘進長1mで3m進行した。その後、インバートを一度に3m掘削・整形、インバート支保工3基設置、吹付けコンクリート3間吹付け、掘削ずりインバート部3mの仮埋戻しを行い、早期閉合を完了した。イ

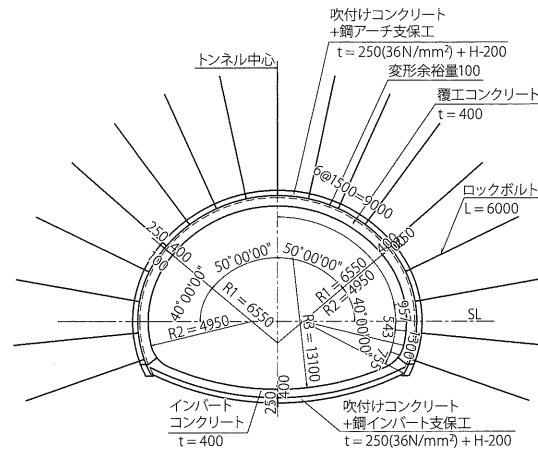


図-4 高耐力支保構造概要(D II-a-B(H)C)

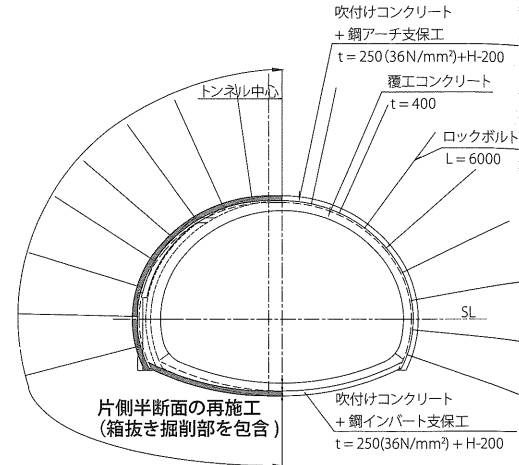


図-6 箱抜き掘削部を包含する早期閉合パターン

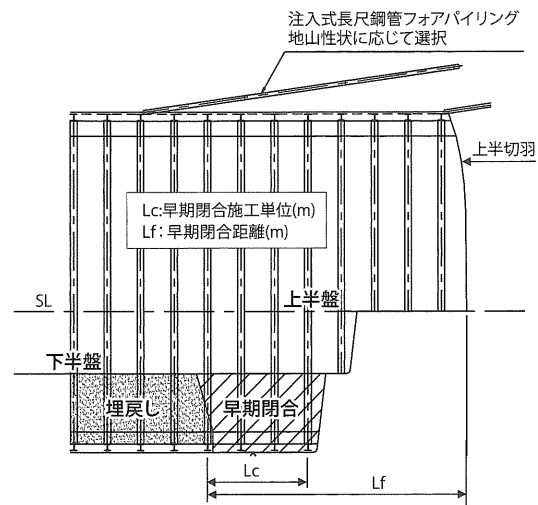


図-5 早期閉合施工概要

ンバート閉合と上・下半掘削は、交互施工とした。

早期閉合施工概要を図-5に示す。

3-1-3 大型箱抜き掘削部の変状と対策

後行する下り線STA.490+25付近の消火栓箱抜き掘削の周辺約19m間において、早期閉合パターンD II-a-B(H)Cに箱抜き掘削の影響が表れた。トンネル軸方向最大約5mの大型箱抜き掘削である消火栓位置において、図-6に示す下半と鋼インバート支保工の継手付近で、最大約20cmの鉛直上向き変位を伴う変状が生じた(写真-3)。また、先行する上り線においても消火栓箱抜き部の吹付けコンクリートにクラックが発生したが、これを除く箱抜き掘削箇所では、クラックや変状は



写真-3 消火栓箱抜き部断面の下半脚部の変状

見られなかった。

以上のことから、地山強度比が1を下回る早期閉合トンネルの大型の箱抜き掘削では、トンネル支保構造体は不安定になり、過大な変位が発生することで、支保部材の一部は大きく変状し、破壊するリスクがあることがわかった。

これらの対策として変状区間では、片側半断面を縫返し施工した(図-6)。また、これより以奥における大型箱抜き掘削では、箱抜き掘削部を包含する早期閉合パターンを設計・施工し、力学的安定を確保した。

3-2 トンネル覆工コンクリートの品質向上—雁峰第一トンネル—

雁峰第一トンネルは、愛知県新城市に位置する延長、上下線それぞれ約600m山岳トンネルである。雁峰第一トンネルでは、トンネル覆工コンクリートの品質向上を図るため、全線、中流動コン

【本工法の施工手順】

- 第1日目
第1型枠は養生中。
第2型枠を使用してコンクリートを打設する。
- 第2日目
第2型枠と運搬装置(ガントリー)を分離し、第2型枠はそのままの状態では養生する。
第1型枠の径を縮小してガントリーに乗せ、第2型枠の下をくぐり抜け、次の打設位置まで前進する。
- 第3日目
第2型枠は養生中。
第1型枠を使用してコンクリートを打設する。
- 第4日目
第1型枠と運搬装置(ガントリー)を分離し、第1型枠はそのままの状態では養生する。
第2型枠の径を縮小してガントリーに乗せ、第1型枠の下をくぐり抜け、次の打設位置まで前進する。

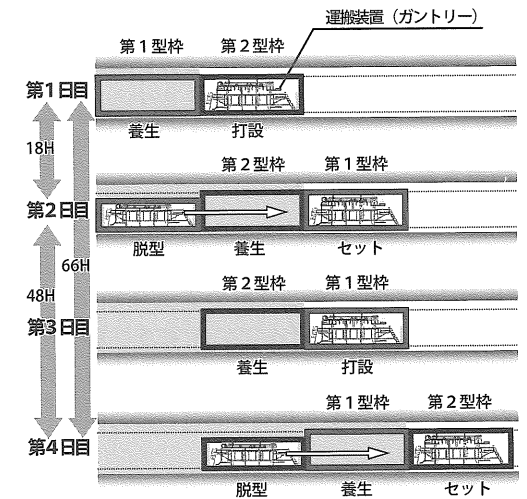


図-7 本工法の施工手順

それぞれを径を縮小・拡大できる機能と自立できる機能を持たせて、第一型枠で型枠養生を行っている間に、第二型枠を架台に載せ、径を縮小させたあと、前方にくぐり抜け、次のコンクリート打設位置に移動したところで径を拡大させ、打設を行うことが可能な工法である。この作業を交互にくり返すことで、コンクリート打設後の型枠存置時間を延ばすことが可能となる。

3-2-2 特殊型枠による初期養生効果

長時間の型枠存置による初期養生効果として以下の3点を想定した。

- ① 自重に対する支持効果
脱型時の曲げによる天端内縁の引張ひずみの低減
- ② 保温効果
覆工表面の急冷によるコンクリート内部の温度ひずみ差の緩和
- ③ 保湿効果
コンクリート表面の初期乾燥収縮ひずみの低減

雁峰第一トンネルでは本工法の効果を検証するため、ほかのトンネルの事例や一部区間において従来工法を採用するなどして、初期ひび割れ発生率と透気係数を比較した。初期ひび割れ発生率とは、覆工コンクリートの打設完了後、約1年以内に発生したひび割れ(インバート拘束ひび割れを

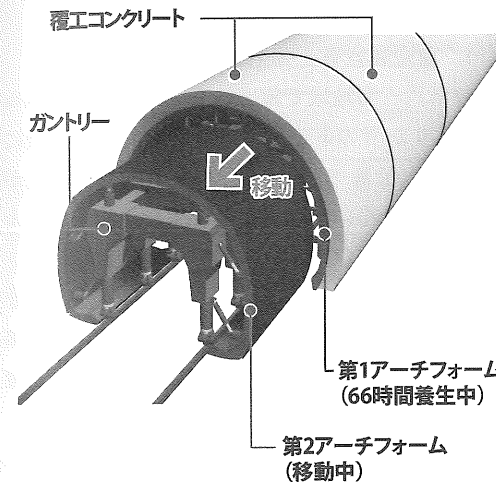


図-8 特殊型枠の概念図

クリートと特殊トンネル型枠を使用して施工(以下、「本工法」)を行った。

本工法は、1つの架台(ガントリー)と2つの型枠(アーチフォーム)で構成される特殊トンネル型枠(以下、「特殊型枠」)を用いることで、2日に1回の打設サイクルを変えずに長時間の型枠存置(本現場においては66時間の型枠存置)が可能となる覆工コンクリートの施工である²⁾。

3-2-1 本工法の概要

この特殊型枠を使用した場合の施工手順を図-7に示す。また、本工法に使用する特殊型枠の概念図を図-8に示す。同図のように、2つの型枠それ

除く)について、覆工全ブロックに占めるひび割れが発生した覆工ブロックの割合であり、透気係数とは、空気の通しにくさ(緻密性)を表すものであり、コンクリート表層部の品質(耐久性)の評価するものである。

初期ひび割れ発生率(図-9)については施工条件の異なるほかのトンネルとの比較になるが、従来工法に比べ1/5程度、覆工表面の透気係数(図-10)については従来工法に比べ1/10程度となっており、特殊型枠を用いることによる覆工コンクリートの表面の品質向上と初期ひび割れの低減効果が確認できた。

本工法は、結露などによる水の浸透劣化や将来的なひび割れの進展の抑制という点で、覆工コンクリートの長寿命化に対して有効な手段と考えられる。

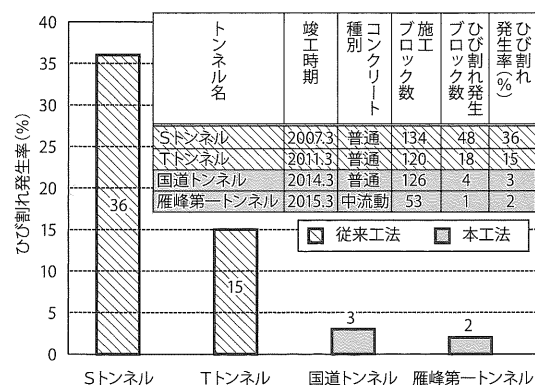


図-9 初期ひび割れ発生率の比較図

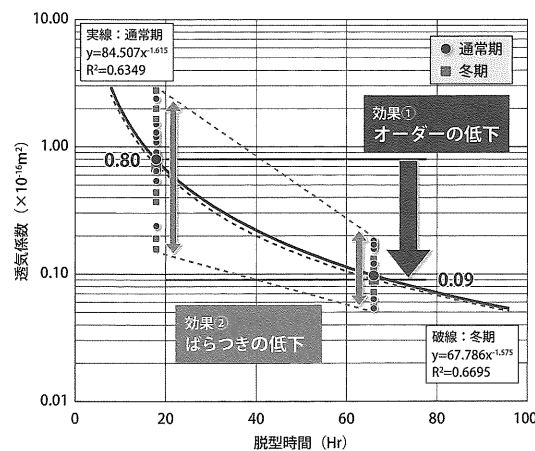


図-10 透気係数測定結果

3-3 重金属含有土の処理

新東名愛知県区間が通過する愛知県西三河地域には、古期花崗岩類と変成岩類(片麻岩)が広く分布しており、砂質片麻岩および泥質片麻岩が卓越した箇所において重金属の含有が確認されている。また、変成岩中の黄鉄鉱(パイライト)が酸化することによって硫酸や水酸化第二鉄を発生するものがあり、これらから生じる酸性水が河川に流入して河川生態系へ影響を及ぼすことが懸念された。このため、重金属および黄鉄鉱が含まれる土砂および岩は適切に管理する必要がある。当該区間の建設においては十分な対策を講じたうえで高速道路本線内に封込めを行った。ここではトンネル掘削時に発生した重金属含有土の対策工法について報告する。

3-3-1 重金属含有土発生状況

愛知県西三河地域で施工した6か所のトンネルのうち、4か所のトンネルから土壌汚染対策法に定める溶出量基準(0.01mg/L)を超過するヒ素が発生した。とくに額田トンネル、額堂山トンネルからは大量の重金属含有土が発生し、額堂山トンネルの掘削延長の約80%の区間から環境基準を超えるヒ素が検出され、最大で6.9mg/Lという第二溶出基準(0.30mg/L)を大きく超える数値が確認された。

図-11に示すように、額堂山トンネル線では上下線のヒ素の出現状況が大きく異なる。これは、上り線においてより強く変性作用を受けた地質帯があったものと推察される。なお、当現場においては、ヒ素溶出量が環境基準を超えたもののうち、第二溶出基準以下の土砂については対策を施したうえで、高速道路の盛土材として使用した³⁾。また、第二溶出基準を超えるものはセメント再資源化施設に搬出して処理を行った。

3-3-2 重金属含有土の判定手法

当該地域の重金属含有土は、水への溶け出しやすさを示す「溶出量」において環境基準の超過が懸念された。このため、トンネル掘削においては1日1回、重金属の溶出量試験を実施しながら施工した。

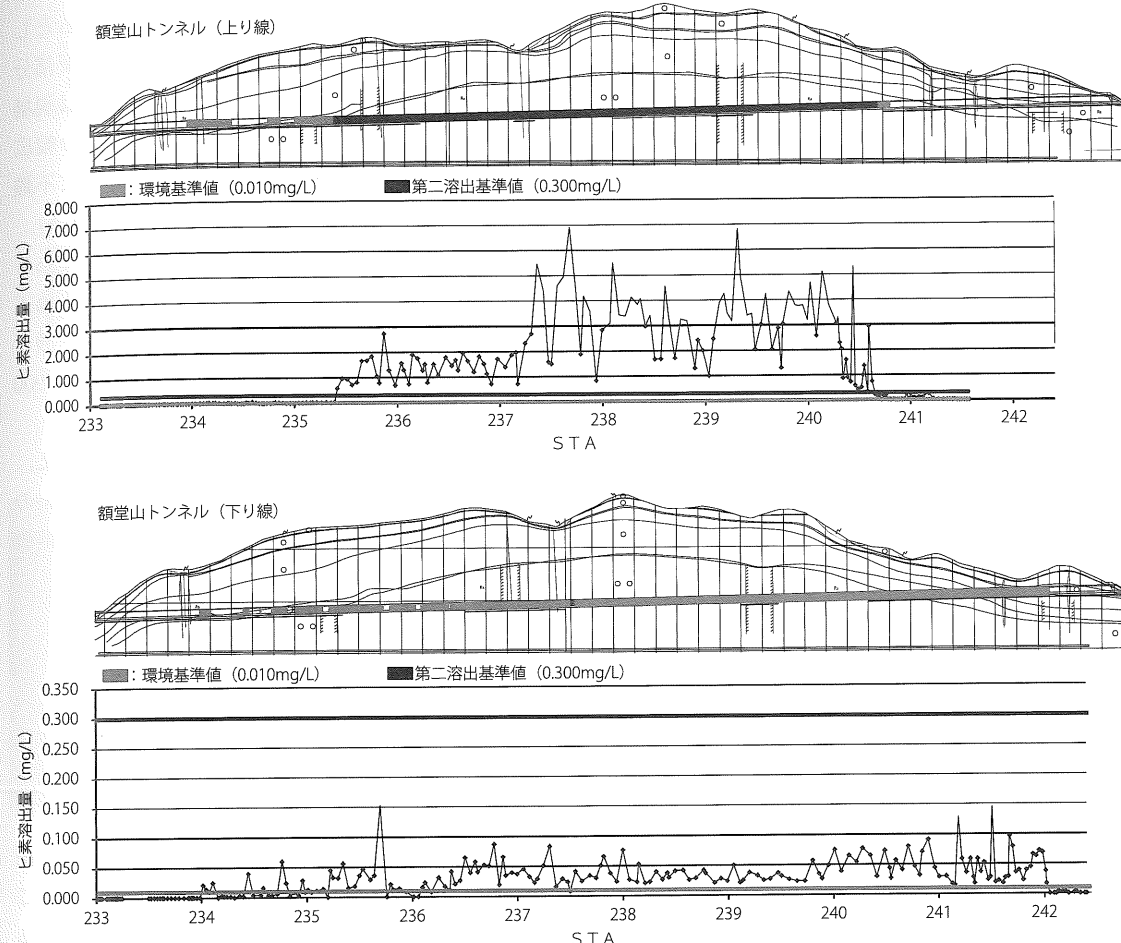


図-11 額堂山トンネルのヒ素出現状況

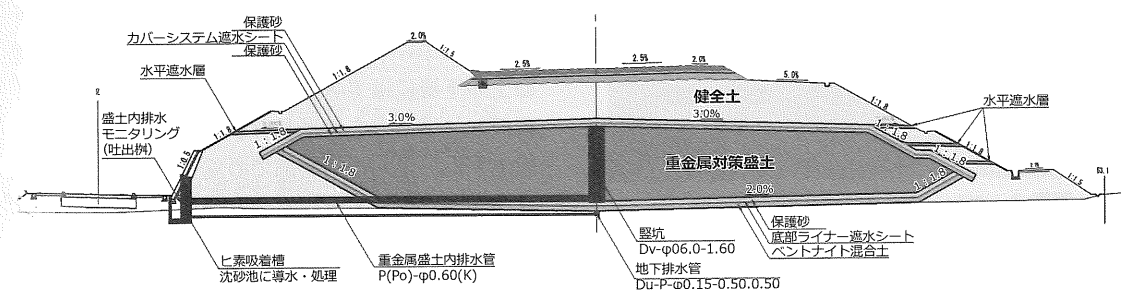


図-12 遮水工封込め工法の標準断面図

溶出量試験は溶液に浸した電極の電位と電流から溶存物質の定性・定量分析を行うボルタンメトリー法⁴⁾を用いて行った。ボルタンメトリー法では、約10時間で検査結果が得られるため、約2週間を要する公定法に比べ工事の進捗に対し効果的な対応が可能となる。

なお、環境基準に対する判断は、事前に公定法とボルタンメトリー法の計測結果に対する相関を取り、新たな基準値を設定している。

3-3-3 遮水工封込め工法による対策

(1) 遮水工封込め工法の概要

図-12に遮水工封込め工法の標準断面図を示す。

遮水工封込め工法は重金属含有土をカバーシステムと底部ライナーで包込む工法である。カバーシステムは中弾性の合成ゴム系の遮水シート($t=1.5\text{mm}$)を二重にして用いた。底部ライナーはベントナイト混合土による遮水層と一重遮水シートを併用する構造とした。ベントナイトは自硬性や追随性を有していることから、仮に盛土が変形しシートが破断したとしても、ベントナイト混合土により重金属の地盤への溶出を避けることができる。また、地下水位より高い位置で対策盛土を構築することにより、地下水の影響を極力避けるように配慮した。

遮水工封込め工法は、底部ライナーを構築したあとは通常の盛土工事と遜色ない早さで施工可能で工事の進捗が図れること、および工事完了後には雨水の浸入がないため維持管理が比較的容易となること、などの利点がある。

(2) 遮水工封込めの施工

最初に底部ライナーとしてベントナイト混合土による遮水層を構築したのち、遮水シートを敷設する。ベントナイト混合土の斜面部は設計厚50cmであるが、小型振動ローラーによる締固めで



写真-4 ベントナイト混合土斜面部の施工



写真-5 遮水シート敷設状況

は十分な密度が得られないため、施工幅3mとして大型機械による締固めを行ったあと、不要部分を削り取った(写真-4)。また、遮水シートは現場での溶着箇所を少なくするため、幅6.3mの幅広シートを用いた。遮水シートの保護材として不織布と保護砂層($t=50\text{cm}$)を設けている(写真-5)。

盛土材が重金属を含有するトンネルずりであるため、岩塊盛土の工法規定方式とし、モデル施工により1層の仕上がり厚さ50cm、転圧回数8回と定めた。重金属対策盛土は性状把握のため、 900m^3 に1回公定分析を行った。

カバーシステムは、二重の遮水シートに加え、遮水シートの保護層としてシート下部に30cmの保護砂層、シート上部は不織布と50cmの保護砂層を設けている。

3-3-4 固化・不溶化工法による対策

(1) 固化・不溶化工法の概要

狭隘部において施工した固化・不溶化工法について報告する。不溶化材などを用いた施工実績は、土壌において比較的小規模のものはあるものの、岩塊における実績はないのが現状である。ここでは、対象土が粒径の大きい岩砕であり、施工実績のある不溶化材がないことや施工規模が大きいことにより、経済性を考慮してセメント固化による不溶化工法(以下、「固化・不溶化工法」)を採用した。図-13に固化・不溶化工法の標準断面図を示す。本施工においては、固化・不溶化工法による盛土の下層にはアスファルト舗装と遮水シートを敷設し、盛土内を通過した水を集水できるように配慮した。また、斜面部での施工であることから、盛土最下層には基盤排水層を構築した。

(2) 固化・不溶化工法の施工

重金属含有土と判定されたトンネルずりを破砕機で、実質最大粒径100mm以下に破砕し、スクリーン(呼び名40mm)により粒度調整を行ったあとに自走式土壌改良機によりセメントと水を混合し盛土材とした。なお、セメントの固化および表面乾燥による材料分離が生じるため、モデル施工結果より混合後2時間以内に転圧を行うこととした。施工状況を写真-6に示す。

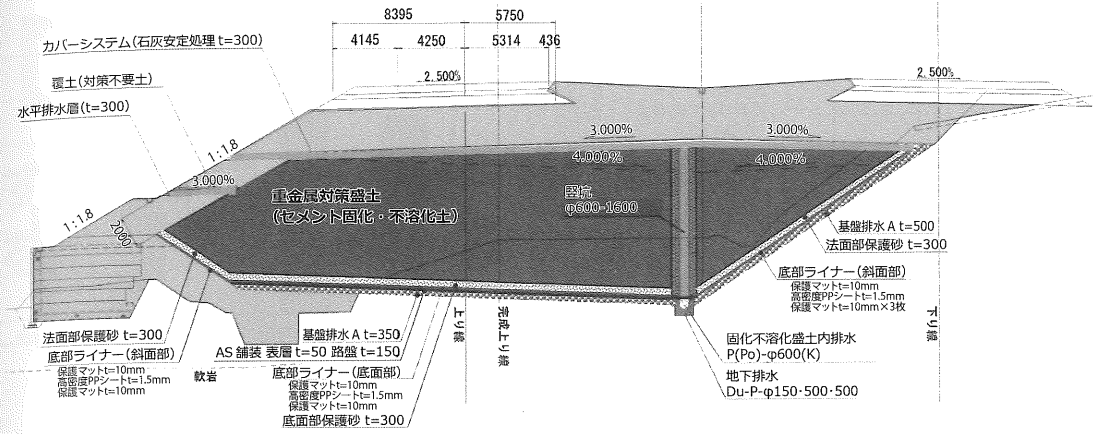


図-13 固化・不溶化工法の標準断面図



写真-6 セメント混合土転圧状況

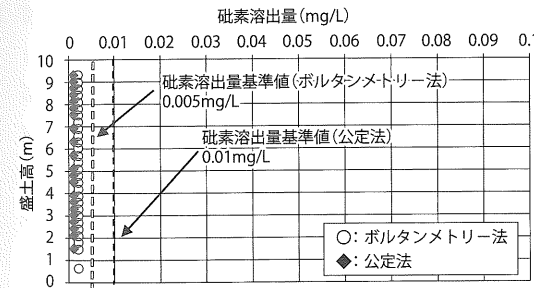


図-14 盛土高とヒ素溶出量の関係図

盛土材は安定処理土として取扱い、その品質管理基準は、NEXCO基準に従い密度比による締固め度97%以上と設定し、乾燥密度を $2.200\text{g}/\text{cm}^3$ 以上とした。重金属に関する管理として 900m^3 に1回、公定法にてヒ素溶出量を確認した。環境省のガイドラインに準拠し、 100m^3 に1回の不溶化効果の確認としてボルタンメトリー法による測定を実施した。その結果を図-14に示す。

セメント混合土のヒ素溶出量は公定分析法で計

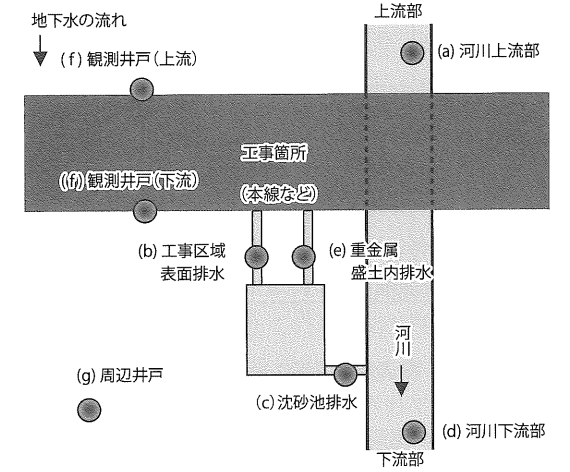


図-15 水質監視位置概念図

量下限値($0.001\text{mg}/\text{L}$)を超えるヒ素は検出されなかった。ボルタンメトリー法による分析においても99%以上が計量下限値($0.002\text{mg}/\text{L}$)以下であった。また、混合後、7日養生の一軸圧縮強さは $2.5\text{MN}/\text{m}^2$ 以上と大きく、路体としては十分な強度を確認した。

なお、本施工に先立ちセメント固化による不溶化効果を把握するため、公定法によるヒ素溶出量試験、含有量試験、タンクリーチングによるヒ素溶出量試験などを実施し、セメント固化による効果を確認している。

3-3-5 水質監視

(1) 水質監視計画

重金属含有土を盛土材として使用するにあたり、

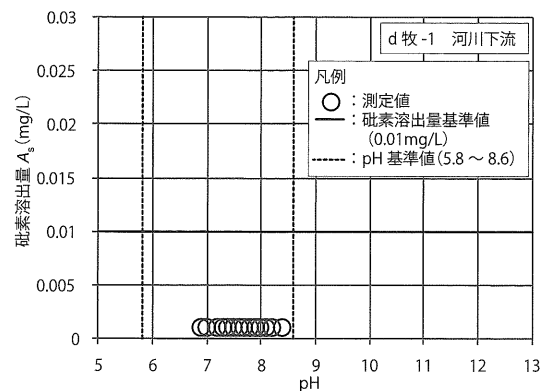


図-16 河川下流における水質監視結果

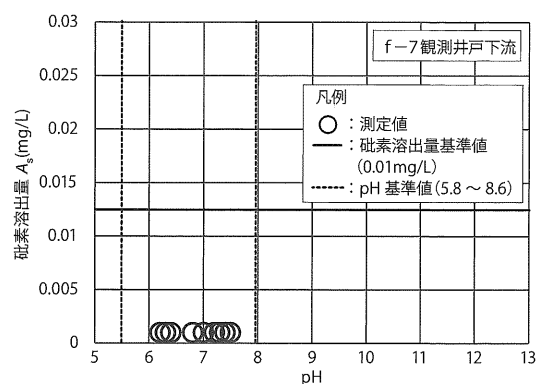


図-17 観測井戸下流における水質監視結果

図-15に示す箇所で水質監視を行った。河川の上下流を測定することで、工事による影響の有無を確認している。また、地下水への影響を監視するために、対策盛土横に観測井戸を設置し、水質監視を実施した。観測井戸においても、地下水の上下流に観測井戸を設置し、既存地下水の状況把握も行った。

(2) 水質監視結果

遮水工封込め工法および固化・不溶化工法における周辺河川および地下水の水質監視結果の代表例を図-16, 17に示す。両工法とも盛土施工中および施工後においてpH、ヒ素ともに環境基準値を超過する値は観測されなかった。一部の盛土内排水からはアルカリを呈す排水があったため、濁水処理プラントに導水し、pH調整を行ったあとに河川へ放流した。

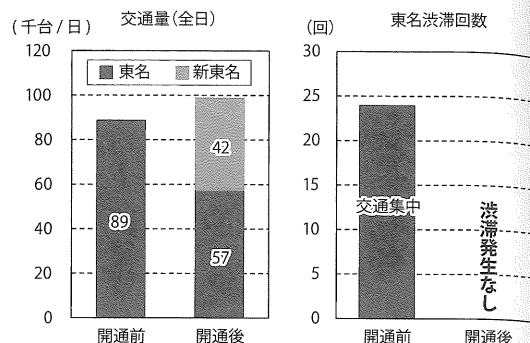


図-18 開通後1か月の状況

4 開通後の状況

新東名愛知県区間の開通後1か月の新東名と東名の交通状況は、図-18に示すとおりである。交通分散により渋滞解消効果が発揮されている。利用者の方からは所要所間が短縮もしくは安定しているといったこと、地域の方からは県外ナンバーの車が増えたとの声をいただいている。

5 おわりに

当該事業におけるさまざまなトンネルの設計・施工の実績やその過程で見出された技術的知見はわが国の土木技術の発展に寄与したものと考えている。

最後に、新東名愛知県区間の建設に際して、ご協力いただいた沿線地域の皆さま、設計・施工に携わられた皆さま、各種委員会や検討会でご指導いただいた皆さま、その他関係者の皆さまに対しこの場を借りまして改めてお礼を申し上げます。

参考文献

- 1) 大嶋健二・野村洋人・児玉泰樹・楠本太：三波川帯低強度地山の山岳トンネル掘削について、土木学会第67回年次学術講演会，VI-042，pp.83-84，2012.9.
- 2) 間井博行・橋爪智：トンネル覆工コンクリートの品質向上に向けた取組み，高速道路と自動車，Vol.58，No. 7，pp.19-23.
- 3) 山脇慎・中野正樹・三嶋信雄：新東名高速道路盛土建設における重金属含有土対策，地質と調査，2013年第1号，pp.20-28.
- 4) 例えば，東京都環境局：土壌汚染調査における簡易分析法採用マニュアル(重金属編)，p.3，2002.7.

施工

ずり出しにカーブベルトコンベヤと竖シュートを用いて周辺環境への影響を低減

—中部横断自動車道 城山トンネル—

国土交通省関東地方整備局甲府河川国道事務所工務第二課建設監督官 竹 淵 俊 和
 大成建設(株)東京支店中部横断城山トンネル工事業務所統括所長 石 丸 智 実
 大成建設(株)東京支店中部横断城山トンネル工事業務所作業所長 吉 野 兼 央
 大成建設(株)東京支店中部横断城山トンネル工事業務所課長代理 三 好 新

1 はじめに

中部横断自動車道は、新東名高速道路の新清水JCTから富士川沿いに北上し、甲府盆地西部を通過し、八ヶ岳山麓を経て上信越自動車道双葉JCTに接続する延長132kmの高規格道路である(図-1)。現在、この地域は、険しい山々に阻まれ、太平洋側地域と日本海側地域への交通には、多大な時間と労力が必要である。当自動車道は、東海地方と内陸・北陸地方との時間および距離の短縮を目指して事業が進められている。

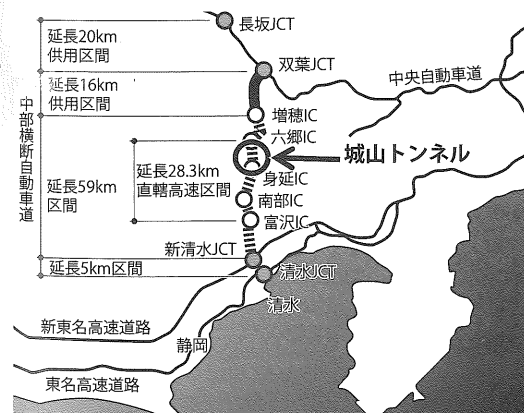


図-1 施工位置図

この路線は急峻な山々を通過するため、53%がトンネル、22%が橋梁と構造物が占めていて、また現道から高い位置に計画されているため、坑口まで仮橋が設計されている区間が多い。

本工事においても延長約350m、標準勾配12%の仮橋が指定仮設として計画されていた。また、現道出入口付近に民家が多いため、民家に対して騒音、振動に配慮した施工が必要であった。

本稿では、工事による周辺環境への影響を最小限にするために、ダンプトラックによるずり出しからカーブベルトコンベヤと竖シュートを用いたずり出し方式を採用するに至った施工計画・施工設備面での工夫や取組みについて報告する。

2 工事の概要

2-1 工事概要

本工事は中部横断自動車道の六郷IC～身延IC間に位置する城山トンネル(全長2,087m)のうち、1,574mを終点側から掘削を行うものである。現場位置図を図-2に、工事概要を表-1に示す。

2-2 地形・地質概要

城山トンネルは、富士川の左岸(東側)に南北に計画され、終点側に標高458.6mの独立した城山

表-1 工事概要

| | |
|------|--|
| 工事名 | 中部横断城山トンネル他工事 |
| 発注者 | 国土交通省関東地方整備局甲府河川工事事務所 |
| 施工者 | 大成建設・岩田地崎建設特定建設工事共同企業体 |
| 工期 | 2012(平成24)年1月25日～ 2016(平成28)年5月31日 |
| 工事内容 | 【城山トンネル】 ・掘削延長：1,570.3m(全長2,087m) ・NATM 機械掘削 ・内空断面積：78m ² ・覆工延長：1,538.8m 【鴨狩津向トンネル】 ・掘削延長：350.7m ・NATM 機械掘削 ・内空断面積：78m ² ・覆工延長：353.7m |

を貫き、起点側は数本の沢を横断するかたちで標高250～350m程度の起伏に富んだ地形となっている。地質は南部フォッサマグナ地域に位置し、新第三紀の西八代層群の一之瀬累層および醍醐山累層が分布し、砂岩・泥岩・凝灰岩・凝灰角礫岩より構成されている。

本トンネルは終点側坑口から延長約800mにかけては中硬岩に属する砂岩を主体とした向斜構造の地質で、その先約1,300mは土かぶり12mの小土かぶり部を経て、起点側坑口部まで向斜と背斜をくり返す凝灰岩と泥岩が互層状に分布する。

図-3に地質縦断面図を示す。

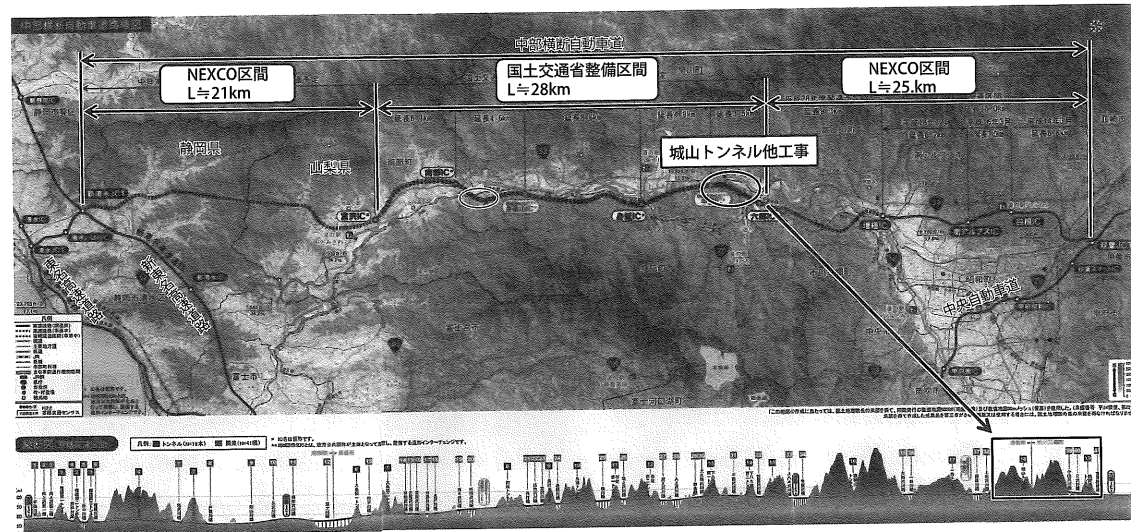


図-2 現場位置図

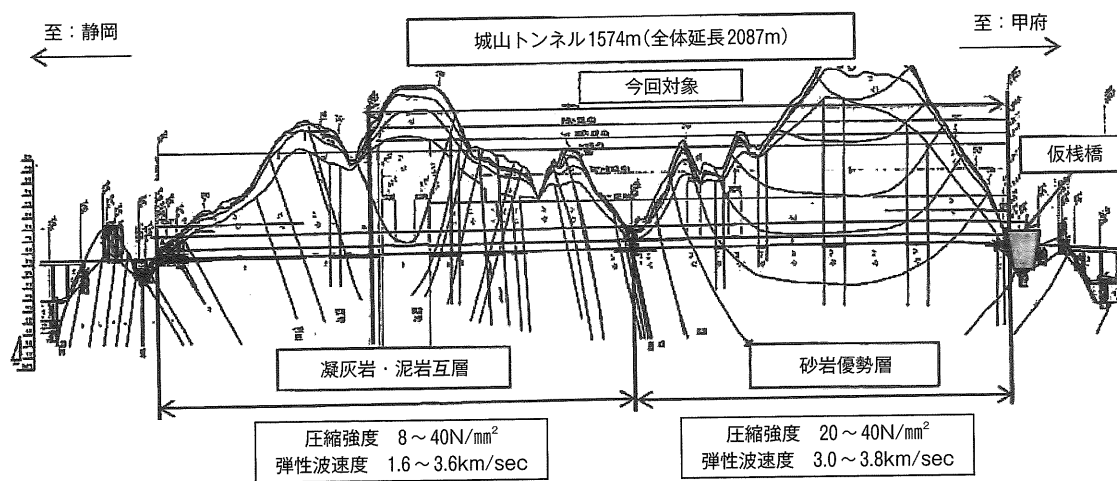


図-3 地質縦断面図

3 工事計画による工夫

3-1 本工事の特徴

本工事の特徴を以下に示す(図-4)。

- ・トンネル坑口は現道の出入り口の県道より高低差が約23mあるため、坑口まで12%勾配のぐねぐねした仮栈橋が設置されている。
- ・県道横の仮設ヤード入口付近には民家があり、夜間作業時には振動、騒音および照明の向きなどにも配慮が必要な地域である。
- ・トンネル坑口前の仮設ヤード内に流れている小山沢川は砂防指定区域に指定されているため、川沿い3m幅の区域は緊急車両の通行を確保する必要がある。

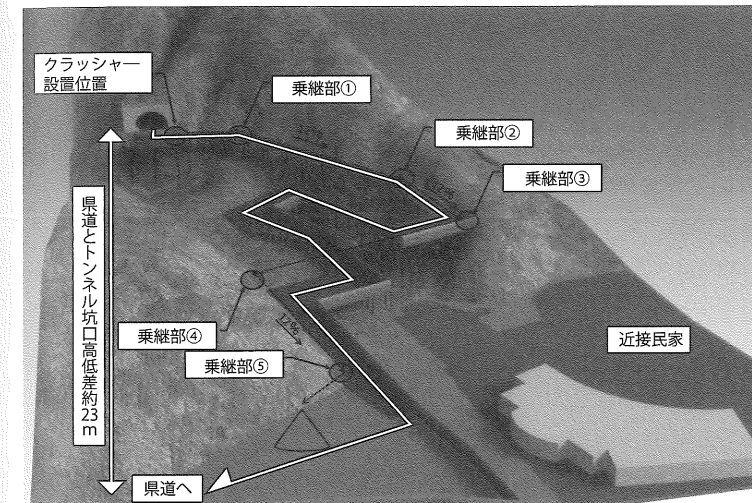


図-4 坑口・県道位置図

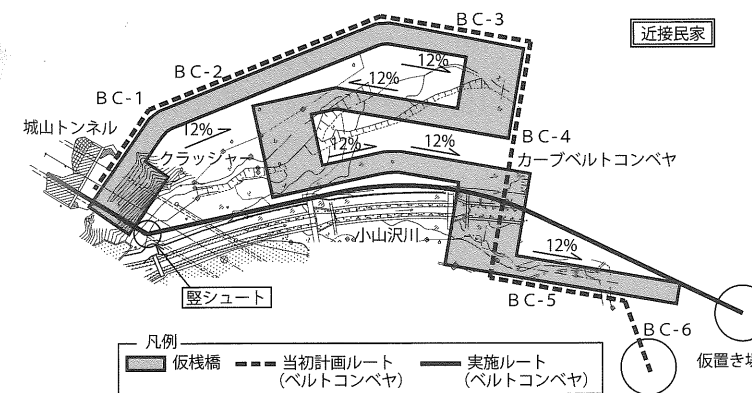


図-5 ベルトコンベヤ配置図

3-2 工事着手時の課題

当初、周辺環境に配慮して坑口から県道横のずり置き場までベルトコンベヤによるずり運搬が計画されていた。しかし、以下の問題が懸念された。

- ① ぐねぐねした仮栈橋上に固定ベルトコンベヤを配置した場合、5本の固定ベルトコンベヤを配置することになり、ベルトコンベヤの閉塞やこぼれなど管理が大変である。
- ② ベルトコンベヤ駆動用のモーターが民家に近くなり騒音が懸念される。
- ③ 狭い坑口前の作業構台に、ずりを破碎するクラッシャーを配置しなければならないため、トンネル掘削時、作業性が悪い。

- ④ トンネル内のずり出しがタイヤ方式(重ダンプ)であるため、クラッシャーの前でずりを仮置きし、クラッシャーに積み込む必要がある。そのため、坑口前の走路の幅が狭くなり、安全対策や積み込み手間が増える。

3-3 竖シュートとカーブベルトコンベヤの採用

坑外のベルトコンベヤによるずり出しは、坑口前の作業構台横に竖シュートを配置し、河川沿いにカーブベルトコンベヤを配置する構造に変更した。坑外のベルトコンベヤ配置図を図-5に示す。

竖シュートは1m×1m×15mの四角柱構造で、内部にずり棚を5段配置した。竖シュートは、最下段にはずり受けホッパーと振動フィーダーを設け、カーブベルトコンベヤへの安定供給を図る構造とした。また、下部の振動フィーダーは角度が可変する構造とし、岩質により



写真-1 堅シュート全景

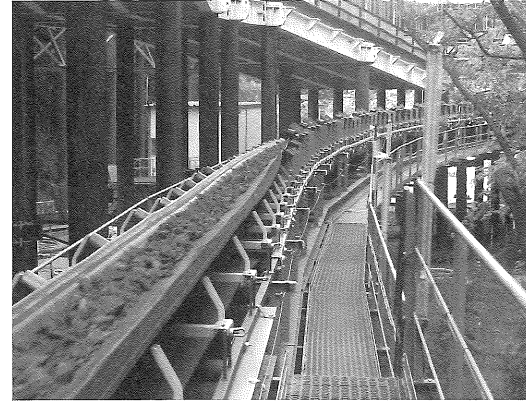


写真-2 カーブベルトコンベヤ全景

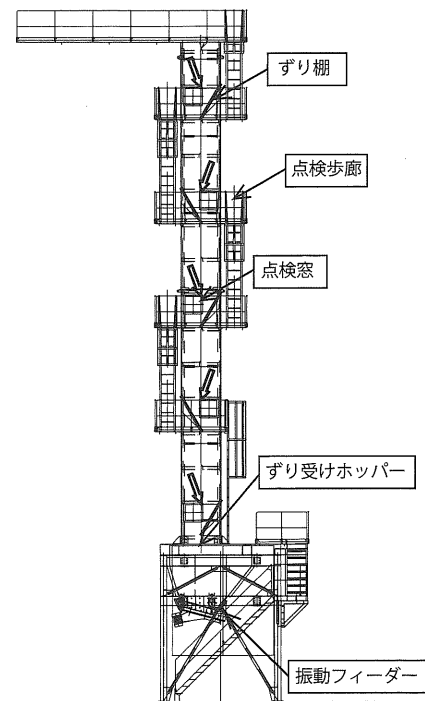


図-6 堅シュート構造図

ずりの付着が顕著な場合はホッパーとフィーダーの開口率も変更することが可能な構造とした。写真-1に堅シュート全景、図-6に堅シュートの構造を示す。また、メンテナンス用に各ずり棚へアプローチできる昇降設備、歩廊、点検窓を設置した。当初ずり棚にはずりが溜まりやすいようにスリット(邪魔板: 9mmの鉄板)を設置し、ずり溜まりによる騒音低減効果を期待した。しかし稼働時には、ずりの大量付着による閉塞が見られたため

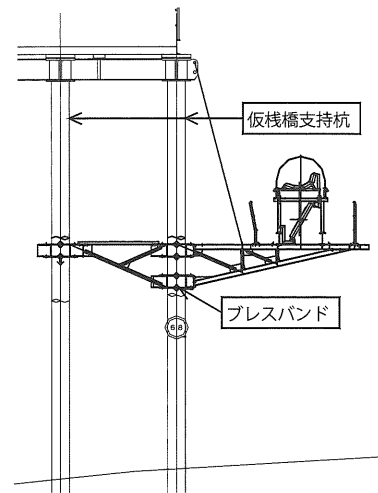


図-7 カーブベルトコンベヤ架台構造図

表-2 カーブベルトコンベヤ仕様

| | |
|--------|-----------|
| ベルト | 750mm・3P |
| 機長 | 170m |
| 曲線部機長 | 83m |
| 曲率半径 | R=102.5m |
| 駆動モーター | 45kW 400V |

改造を施し、スリット構造から全面板張りの構造に変更した。

一方、安全対策として、各ずり棚下部にバネセンサーと光電センサーを設置し、ずり閉塞時緊急停止する機能を設けた。

また、ずり受けホッパーにも光電センサーを設置し、ずり閉塞時、ベルトコンベヤが自動停止するようインターロックを施した。

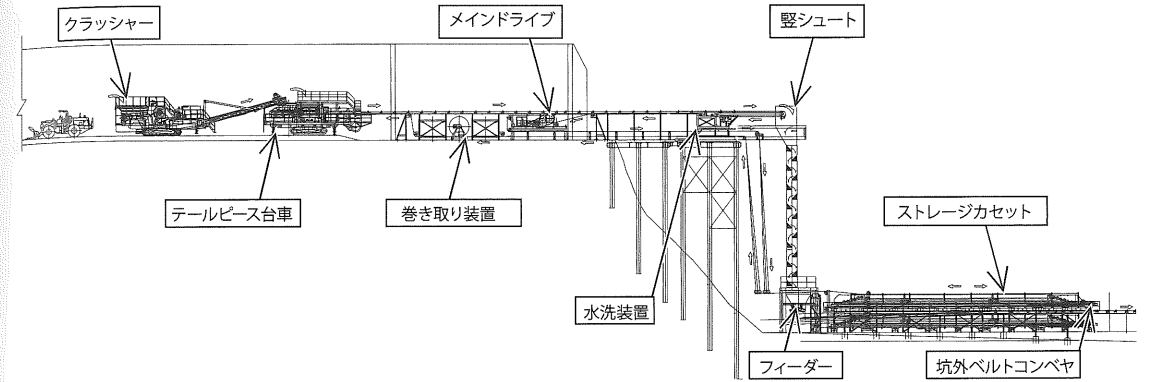


図-8 連続ベルトコンベヤシステム配置図

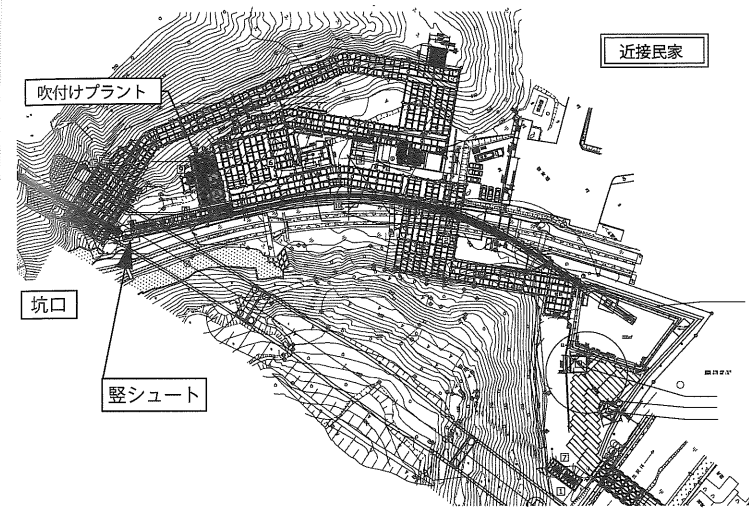


図-9 吹付けプラント位置図

ベルトコンベヤは、ずりの落下位置からずり仮置き場までに砂防指定区域の小川沢川があり直線で計画することができなかつたため、線形を曲線にしたカーブベルトコンベヤ(R=102.5m)を採用した(写真-2、図-7)。

また、ベルトコンベヤの支持は用地の制約で河川沿いに支持することができなかつたため、仮栈橋の杭にブラケットを設けた構造とした。表-2にカーブベルトコンベヤの仕様を示す。

3-4 連続ベルトコンベヤ方式を採用

坑内のずり出しをタイヤ方式からベルトコンベヤ方式のずり出しに変更するため、自走式クラッシャーと連続ベルトコンベヤによるずり出し方式に変更した。連続ベルトコンベヤを導入するにあ

たっては、機械や装置類を坑口前か、坑内直線部に配置する必要がある。

しかし、本トンネルでは坑口前が狭いうえに、坑口付近に曲線区間および勾配変化点があることから、坑内に配置した場合約300mほど掘削後に配置することになる。そのため、堅シュート際に捻転部(高低差23m)を設け、カーブベルトコンベヤ横に2段式のストレージカセット(ベルト収納装置)を配置した。これにより、連続ベルト

コンベヤは100m掘削が完了した時点で導入することができた。

図-8に連続ベルトコンベヤシステムの配置図を示す。

3-5 仮栈橋上に吹付けプラントを配置

吹付けプラントは、当初現道近くの仮設ヤード内に計画されていた。しかし、民家が近く夜間のプラント稼働において騒音の苦情がでることが懸念された。そのため、仮栈橋の途中にステージを設け民家から離れた位置に吹付けプラントを配置した。

また、堅シュートはずり落下時に騒音を出すことが懸念されたため、吹付けプラントの背面に配置し、民家への騒音を低減した。

4 おわりに

本稿は、周辺環境に配慮して仮設備配置の工夫やトンネル坑外および坑内もベルトコンベヤによるずり出しを採用した経緯、工夫について報告した。

これらを実施することにより、現道出入口付近の民家で騒音レベルを50dB以下とすることができ、民家からの苦情もなく工事を進めている。

現在、工事は砂岩主体の地山から凝灰岩と泥岩互層区間の掘削に入っている。岩質の変化に対してずり出しが順調に運転できるようにシステムを管理、調整をしながら工事を進め行く予定である。

参考文献

- 1) 吉野兼央・石丸智実・三好新・竹渕俊和：カーブベルトコンベヤと堅シュートによる効率的な残土搬出，土木学会第70回年次講演会公園概要集，IV-740，2015。

■図書案内

地下水の科学 — 全3巻 —

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

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



第I巻 地下水の物理と化学

4,078円+税 B5判

■序論 ■岩石における空隙の起源と透水性 ■地下水の動き ■岩石の弾性的な性質と流れの方程式 ■水理試験（モデル、方法と応用） ■溶質と粒子の輸送 ■汚染物質の水理地質学入門

第II巻 地下水環境学

4,272円+税 B5判

■地下水の化学 ■化学反応 ■物質輸送の数学理論 ■地下水による物質輸送（水質編） ■地下水による物質輸送（地質編） ■物質の輸送のモデル ■輸送プロセスとパラメータ同定 ■水質浄化対策

第III巻 地下水と地質

3,689円+税 B5判

■水資源 ■堆積盆水循環における地下水 ■地殻における地下水 ■地下水流動における熱輸送

株式会社 **土木工学社**

〒162-0832 東京都新宿区岩戸町16メイジャー神楽坂
TEL: 03 3267 2888 FAX: 03 3267 2807 <http://www.tunnel.ne.jp>



「ふかひれ」と「ホヤ」のまち気仙沼より

衣笠晃司

気仙沼市は宮城県の北東側に位置し、有名なリアス式海岸は東部の唐桑地区から気仙沼地区にかけて存在する。当地区の海岸は、岩手県沿岸のリアス式海岸に比べ、標高が低くなだらかな丘陵が多いのが特徴的である。気候は過ごしやすく、冬は三陸沖の黒潮の影響により比較的温暖であり、夏はやませの影響で涼しい。

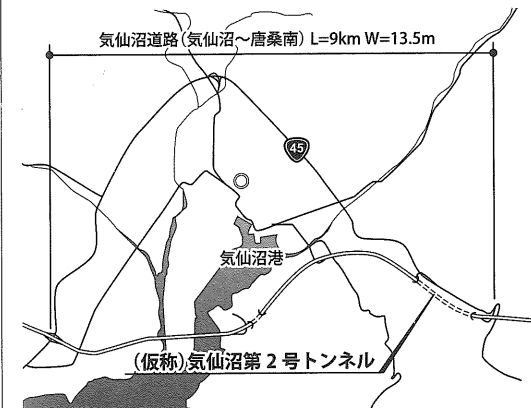
産業は水産業と観光が中心で、水産業においては、かつお、めかじきの水揚げ量は全国1位、さんまの水揚げ量は全国2位であり、全国有数の漁港を誇る。沿岸では牡蠣やホタテなどの養殖業も盛んである。

三陸沖は「戻りカツオ」の主分布域にあたり、成長したカツオの絶好の漁場となっていることから、全国から漁船が集まり、気仙沼港に水揚げされ、9割以上が生鮮出荷されている。

ふかひれの産地としても有名で、水揚げ量は日本一である。海外には高級品として出荷されている。

また、寿司職人たちが共同につくったとされる特大ふかひれを使用した「気仙沼ふかひれ丼」を竣工までに一度は食してみたいものである。

2014(平成26)年に全面再開した観光物産施設「気仙沼 海の市」には、三陸の海の幸が出そろう。1階には、気仙沼港で水揚げされた魚介類や水産加工品などを扱う店が軒を並べる。2階にはサメの実物模型や生態などを解説した、日本で唯一のサメの博物館「シャークミュージアム」がある。



位置図



ホヤ

気仙沼市の観光PRキャラクターに「ホヤ」をモチーフとした「ホヤぼーや」がいる。日本全国に気仙沼をPRするために日々活動している。新鮮な「ホヤ」は酒の肴として最高である。

2011(平成23)年3月11日に発生した東日本大震災による津波と流出した石油の引火により甚大な被害もたらされたのは記憶に新しい。東日本大震災により気仙沼港の水揚げ漁獲高は大幅に減少したが、震災以前の約8割まで回復している。

本工事は、三陸沿岸道路整備事業の一環として、気仙沼唐桑工区(11km)のうち、(仮称)気仙沼第2号トンネル(L=1,167m)を施工するものである。

当現場の特徴として、トンネル内でランプが摺付く3車線断面のため、坑口部(陸前高田側)が、掘削断面234m²の超大断面トンネルとなっていることが挙げられる。2014(平成26)年12月より、中央導坑で掘削を開始。2015(平成27)年2月に到達(L=173.3m)。同年3月より本坑の超大断面掘削を開始した。2016(平成28)年4月末現在で、掘削延長650mを超えたところである。2017(平成29)年3月末の竣工を目指し、トンネル掘削と並行してインバート掘削、拡幅断面の覆工、2017(平成29)年5月より標準断面の覆工の施工と工事の最盛期を迎える。所員一同が一致団結し、1日も早く工事を完成させる所存である。

(佐藤工業(株)気仙沼トンネル作業所監理技術者)



「八十里越」三条市下田地区より

三宅 拓也

越後山脈のほぼ中央、新潟県三条市下田地区から魚沼市入込瀬地区北端部を經由し、福島県只見町に至る街道および鞍掛峠(標高965m)と木の根峠(標高845m)。これが「八十里越」である。

名前の由来には諸説あるが、実際の距離は八里でありながら、険しさゆえに一里が十里にも感じられるほど、あまりに急峻かつ長大な山道であること、と言われている。

八十里越の歴史は古く、平安時代には宇治川の戦いに敗れ、都から落ちのびた高倉宮以仁王が最後に越した峠が八十里越であったという伝説がある。戦国時代には、上杉謙信も諸国漫遊の旅から越後に戻る際に歩いたと言われ、このころには、軍馬も通行できる軍用道路として利用されていた。

近年では、司馬遼太郎の小説『峠』の舞台として、幕末から戊辰戦争時の越後長岡藩家老・河井継之助の名とともに、広く知られている。この小説を読んだ多くの人々にとって、河井継之助のいたましさは身につきまされるものがある。2度と帰ることのない八十里越は死の道だっただろう。継之助が詠んだ「八十里こしぬけ武士の越す峠」の狂句には、越後の山々を、空を、凝視しながら悔悟の自嘲を、かいまみることができる。八十里越には、このような歴史があり、明治時代ま



八十里越の山々

では重要な街道だった。しかし、昭和初期には人々の移動や物資の輸送は鉄道に移行し、衰退の一途をたどっていく。今日に至るまで八十里越の整備は遅々として進まず、通行も不可能な「けもの道」の様相を呈するまでに荒廃してしまった。

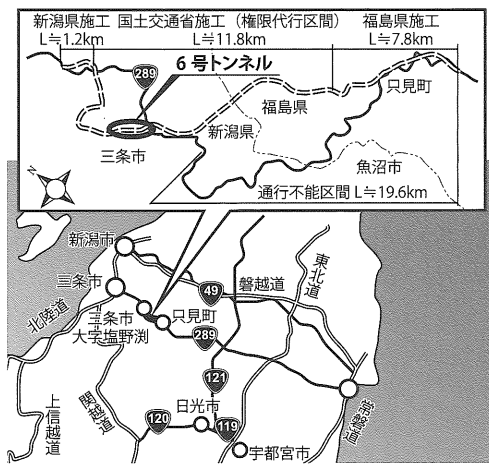
現在の国道289号(起点:新潟市~終点:いわき市、総延長302km)のうち、県境部分19.1kmは、一般車両が通行できない「通行不能区間」となっている。この区間が「八十里越」であり、国土交通省、福島県および新潟県では、通行不能区間の解消を目指して国道289号改築事業を共同で進めている。

本工事は、この八十里越区間の6号トンネル(L=1.195m)を施工するものである。国道289号の開通により、信頼性、安全性の高い通行を確保し、輸送コストの削減による市場の拡大や、新たな広域的地域間の交流が期待されている。また、高度医療機関への所要時間の短縮もあり、救命救急体制の向上も見込まれている。

トンネルの地質は、凝灰岩および流紋岩を主体とし、部分的に安山岩が貫入している。掘削は、2014(平成26)年9月末に開始し、2度の冬季工事休止期間を経て、切羽は450mまで進んだ。

大自然の中、サルやクマ、ニホンカモシカに会い、春の山菜、秋の紅葉を楽しみ、自然に配慮し安全に施工していく所存である。

(戸田建設(株)国道289号6号トンネル作業所長)



位置図

施工

長大山岳トンネルにおける生産性向上への取り組み

—急速ずり処理システムとロングブーム吹付け機の開発—

清水建設(株)土木技術本部地下空間統括部主査 小島 英 郷
清水建設(株)土木技術本部機械技術部工事長 藤 内 隆
清水建設(株)土木技術本部機械技術部工事長 藤 井 攻

1 はじめに

近年の山岳トンネル工事では、社会的要請で計画から設計および工事発注までのスピードが速くなると同時に、さまざまな制約条件下で供用開始を目指す中で、工事施工の生産性向上が強く求められている。長距離・大断面のトンネル施工では、土かぶりや掘削延長に比例して、当初設計と異なる事象に遭遇するリスクが大きくなる。また、工事開始の遅れや掘削進行の停滞が発生しても、トンネル掘削作業が切羽に集約されていることから、施工速度の改善は難しい。トンネル施工の生産性を向上させるためには、順調に掘削できるときに最大限の進捗を生み出すとともに、不良地山の区間においては、切羽崩落などの工程遅延の要因を取り除く丁寧な施工が重要となる。

元来、生産性を向上させるために施工計画の段階で、

- ① 単位作業時間の短縮
- ② 並行作業の導入
- ③ 工程遅延の最小化
- ④ 安全施工の確保

を検討して機械編成や設備配置、作業手順を決定し工事に着手している。一般的な発破掘削の施工サイクル(図-1)をみると、ずり出し作業と、一次吹付けから支保工の建込みおよび二次吹付けまで

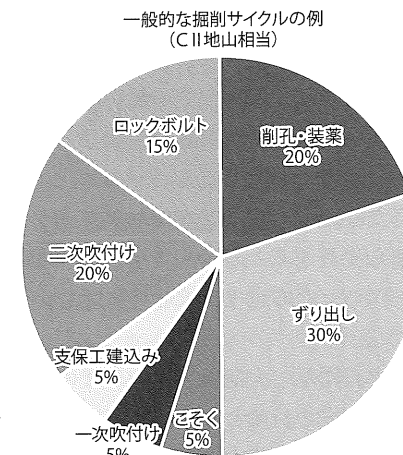


図-1 施工サイクル

の支保作業が、それぞれ全体の約30%を占めており、トンネル掘進を支配する大きな要素であることがわかる。

筆者らは、これらに注目して生産性向上を最大限に発揮できるトンネル施工技術の開発を行ってきた。本稿では、①と②にかかわる「S-マック(急速ずり処理)システム」と、②、③および④にかかわる「ロングブーム吹付け機」の開発について報告する。

2 S-マックシステムの開発

地山等級CII以上の良好地山では、掘削方式に発破掘削が適用される場合が多い。発破掘削では、

機械掘削とは異なり発破の合図とともに一時的に大量のずりが発生する。ずり出し作業全体にかかる時間は、一進行長あたりの掘削体積量にほぼ比例し、配備された機械設備に依存する。掘削サイクルタイムを短縮するためには、次工程の支保作業にどれだけ早く着手できるかがポイントとなる。

そこで、通常より短時間で切羽下のずりを移動処理するS-マックシステム(Speedy Mucking System)と、ずりの移動処理と次工程を同時に実施する移動式伸縮ベルトコンベヤ台車の開発を行った。

2-1 S-マックシステムの概念設計

近年のトンネル施工では、ずり出しに連続ベルトコンベヤ方式を採用する現場が増えている。連続的に大量のずりを運搬できるとともに、タイヤ方式に比べて運搬車両の往復走行が少ない分、トンネル特有の線状で狭い作業空間では、安全性が向上するとともに、坑内大気や路盤などの坑内環境を良好に維持しやすくなる。一方で、はじめに配備された連続ベルトコンベヤやクラッシャを施工途中から変更することは、費用が大きくかさむため行わない。この点では柔軟性に乏しい設備といえる。

そこで、長距離・大断面トンネルでの連続ベルトコンベヤ方式を対象として、効率の良いずり処理方法の開発を行うこととした。開発の基本方針を次のように定めた。

- ① 配備されている機械設備の能力を最大限に利用し、より効率よく稼働させる。
- ② 地山状況に応じて、柔軟に対応できるシステムとする。
- ③ システムの導入によって発生する安全上のリスクは確実に排除する。
- ④ 開発システムは、過大な設備や大型化を避

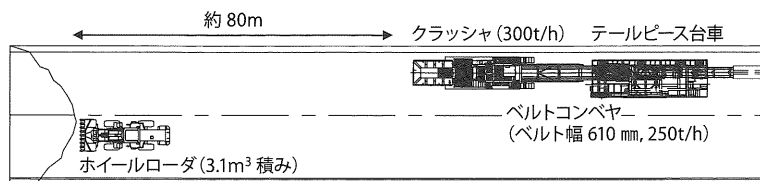


図-2 機械編成

けてコストアップを抑制する。

連続ベルトコンベヤ方式での機械編成を図-2に示す。ずり運搬設備の250t/hベルト幅610mm連続ベルトコンベヤと、処理能力300t/hの自走式ジョークラッシャに、バケット容量3.1m³のサイドダンプ式ホイールローダによる積込み機械を組み合わせたものである。切羽下で掻き集めたずりを80mほど後方の自走式クラッシャに投入し、連続ベルトコンベヤにて坑外のずり仮置場まで連続的に運搬する。

発破により一時的に大量に発生するずりを短時間で連続的に移動させ、切羽下の作業エリアを早期に開放することを物流システムとして捉えると、掻き集めながら持ち上げて移動させるという行為の単時間化はホイールローダの採用で達成されている。一方で、ホイールローダの大型化は後続の機械設備を大型化しなければ、クラッシャへの積込みが停滞するので検討から外し、切羽下からのずりの移動が途切れることなく続く連続化に、主眼を置くこととした。

2-2 実証試験

(1) ホイールローダ2台による連続処理

発破での退避距離を約80mとし、支保工建込みや吹付け作業に必要な距離を約40～60mとすれば、その後方からクラッシャまでの約40～20mは重機車両の離合待機場所、動力電源設備の位置となるので、クラッシャの切羽側40m程度の間は、工夫により有効活用できるスペースとなっている。

ずり出しの状況とホイールローダの動きをみると、切羽下でずりを掻き集めたのちにクラッシャまで移動し、積込みを行っている間は、切羽下は作業のない待ち状態となっている。また、切羽下のずりを掻き集める時間が長くなると、ベルトコンベヤ上にずりが満載されていない状況がみられる。

汎用のホイールローダ2台により、交互連続的に行うずり処理の検討を行った。ホイールローダのオペレータは、クラッ

シングの状況に応じてクラッシャへの積込み、または仮置きを行う。これにより、切羽下の作業待ち状態を最小化するとともに、連続ベルトコンベヤへの積載量を最大化し、設備能力を最大限に発揮させることができる。仮置きしたずりは次工程の吹付け作業中に1台のホイールローダで2次ずり出しを行うものとした。

2台のホイールローダによる急速ずり処理の比較試験を実現場の協力を得て行った(写真-1)。掘削断面積77.5m²、支保パターンがCⅡパターンでの1サイクル時間を比較した。この実証試験でのずり出し時間は83.3分から74分へ短縮された(表-1)。

(2) 移動式伸縮ベルトコンベヤによる並行処理

切羽下のずり処理中に次工程の吹付け作業を並行して行う方法の検討を行った。その中で、ホイールローダでのずり処理・運搬作業の途中から、狭隘な切羽下の作業エリアを左右に分けて、吹付け作業を並行して開始すると、作業員の安全を確保するための強固なプロテクターなどによる仕切り

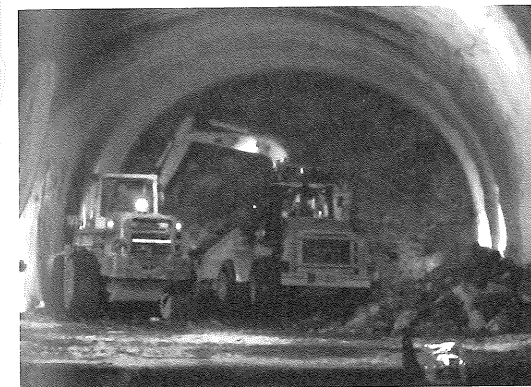


写真-1 実証試験(ホイールローダ2台)

表-1 実証試験(ホイールローダ2台)

| 作業 | 標準施工平均(分) | 実証試験(分) |
|--------|-----------|---------|
| 前孔装薬発破 | 75.9 | 61 |
| ずり出し | 83.3 | 74 |
| 支保工 | 99.5 | 120 |
| ロックボルト | 27.1 | 27 |
| 合計 | 286 | 282 |
| 短縮 | — | 4 |

の設置など、より特別な安全面の対策が必要になると考えられた。このことから、吹付け作業エリアの横を重機が前後走行をせずにずりを後方に移動させることができるベルトコンベヤの利用を考案し、積込みには旋回が主であるバックホウを使用することで、重機の可動範囲を最小化させるものとした。

これはシャフローダの掻寄せ・積込み特性を真似たもので、後方に伸張すると約25mになるベルトコンベヤ装置を汎用の履帯台車に搭載した移動式の連続ずり運搬装置である。

この装置の有用性が認められれば、ずり出し重機が前後に往復する距離が短くなり連続的に排土できることでずり処理時間の短縮が図れる期待もあった。

急速ずり処理のイメージは、初めにホイールローダによるクラッシャへの積込みと移動式伸縮ベルトコンベヤ台車による後方へのずり仮置きを並行して行う。ある程度ずり処理が進んだ段階で、移動式伸縮ベルトコンベヤによるずり処理を継続しながら、支保作業の一次吹付け作業を開始する。後方に下がったホイールローダは、仮置きされたずりをクラッシャへ積み込むというものである。

移動式伸縮ベルトコンベヤ台車1台とホイールローダ1台の組合せで、切羽下ではクラッシャを介さずにベルトコンベヤに積み込むこととし、機械掘削による現場の協力を得て比較試験を行った(写真-2)。掘削断面積79.1m²、支保パターンがDⅠ-bパターンでの1サイクル時間を比較した。この実証試験では、土量約95m³のずり出し作業で、

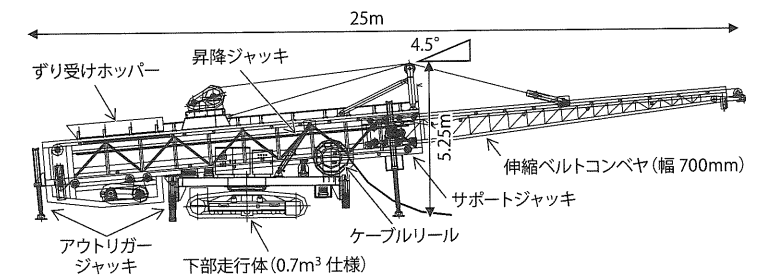


図-3 移動式伸縮ベルトコンベヤ台車

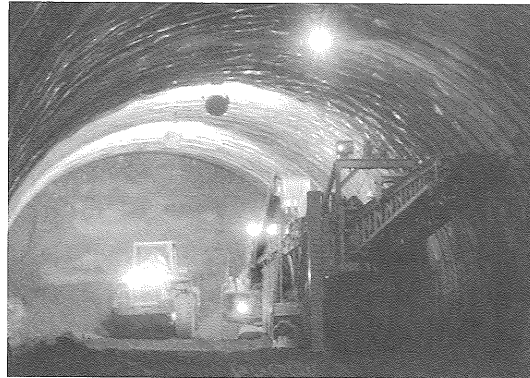


写真-2 実証試験(伸縮ベルトコンベヤ台車)

表-2 実証試験(伸縮ベルトコンベヤ台車)

| 作業 | 標準施工平均(分) | 実証試験(分) |
|-----------------------------|-----------|---------|
| ずり出し量(m ³) | 95 | |
| ホイールローダ(3.1m ³) | 45 | 20 |
| バックホウ(0.7m ³) | | 30 |
| 伸縮ベルトコンベヤ | | 36 |
| 合計 | 45 | 36 |
| 短縮 | | 9 |

3.1m³ホイールローダ単独での作業時間が45分であったのに対し、0.7m³バックホウの積み込みによる移動式伸縮ベルトコンベヤ台車の併用で、作業時間は36分となり、9分程度短くなった(表-2)。

(3) 実証試験のまとめ

急速ずり処理にかかわる2つの実証試験での考察は、以下のとおりとなった。

- 2台のホイールローダによる急速ずり処理が、次工程への引渡しに有用である。
- 吹付け作業中の2次ずり出しでの安全は、安全設備の配置と安全ルールの遵守で確保する。
- 安全設備は、既存の汎用設備で対応できる。
- 増強ホイールローダのオペレータは、別途増員する必要がある。
- 増員したオペレータの発破作業への加勢で、発破作業の時間短縮が見込まれる。
- ずり仮置き方法を計画的に定めると、ずり出し中にクラッシャの不具合が発生してもずり処理が中断しない。

一方で、移動式伸縮ベルトコンベヤ台車は、製

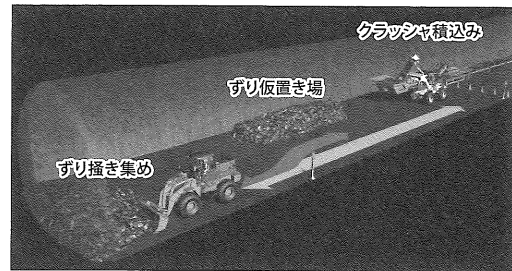


図-4 S-マックスシステム

作費、移動段取りにかかる時間、坑内での駐機場所の確保に課題がみられ、実施工への適用性はまだまだ低いと判断した。

2-3 S-マックスシステムの現場導入

八鹿日高道路三谷トンネル(南側)工事(発注者：国土交通省近畿地方整備局)に、施工途中よりS-マックスシステムを導入した。S-マックスシステムは、導入効果の事前予測、ずり出し作業時の安全管理、そして2台のホイールローダによる交互ずり処理(図-4)の3システムを総称するシステムである。

(1) 導入効果の事前予測

急速ずり処理システムの導入効果について効果予測シミュレーションを行った。掘削断面積、切羽下からクラッシャ積み込み位置までの移動距離、仮置場の位置および面積、ホイールローダ2台による処理量、時間とともに変化する2台の離合位置と拡大する仮置場の面積、そして2台相互の動きを干渉し作業効率を低下させる影響係数*k*を導入して定式化を行った。

$$f(m) = k w(t) / m \quad (1)$$

影響係数*k*は、ホイールローダ1台によるずり処理時間*f*(1)に対して、ホイールローダ*m*台でのずり処理時間が単純に1/*m*倍とならないことを意味する。

トンネル断面積が大きい場合は、標準のずり処理時間に対しておおむね半分程度の時間短縮となるが、トンネル断面積が小さくなるに従い相互が干渉してずり処理時間が増加傾向に転ずる。三谷トンネル(掘削断面積91.2m²、支保パターンDII-b)でのずり処理時間は、約90分から約60分への短縮が見込まれた(図-5)。

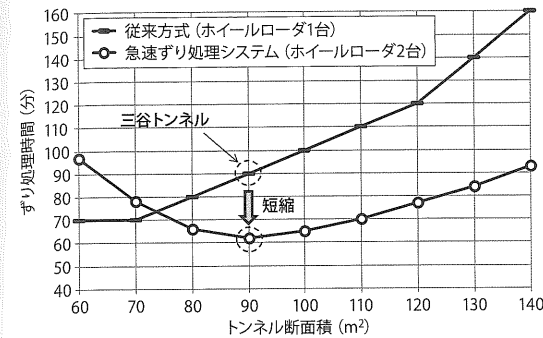


図-5 効果予測シミュレーション

(2) 安全管理

安全管理の概念を図-6に示す。ずり処理作業中のホイールローダによる重機接触災害の防止を図るため、作業エリアの前後へ「立入り禁止措置」と稼働中のホイールローダを停止させるための「重機呼出し装置」を配置する。これらの設備は、トンネル施工において標準化されている汎用の安全設備を組み合わせたものであるが、導入時の初期は関係者が慣れるまで、監視員による直接確認をあわせて行うこととした。

(3) S-マックスシステムの導入効果

三谷トンネル(南側)工事において鋭意工程を縮めるため、本システムを導入した。2台のホイールローダが交互に前後移動しながら、オペレータとクラッシャ監視員らは、相互に「仮置き」または「積み込み」を確認しながらずり処理を行った(写真-3)。

急速ずり処理システムを導入してからの掘削サイクルタイムの平均を図-7に示す。地山等級の変化(CII, CI)や多少の機械トラブルを含めた平均値となっているが、ずり処理時間は導入前の94分から65分になり、掘削サイクルタイムは約11%短縮された。ずり仮置きの手順が明確に定められたことで、クラッシャの詰りが発生した場合でも、作業員たちからは慌てることなく冷静な対応

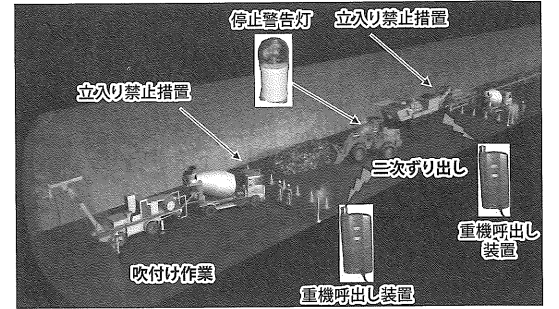


図-6 安全管理システム

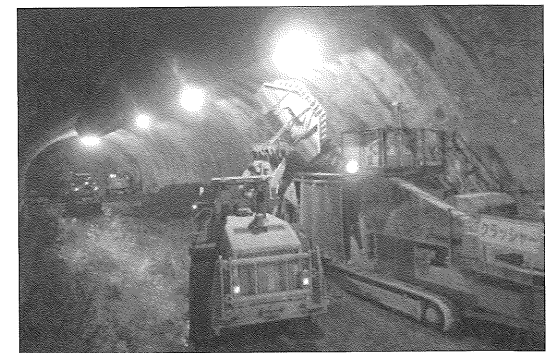


写真-3 S-マックスシステムの実施状況

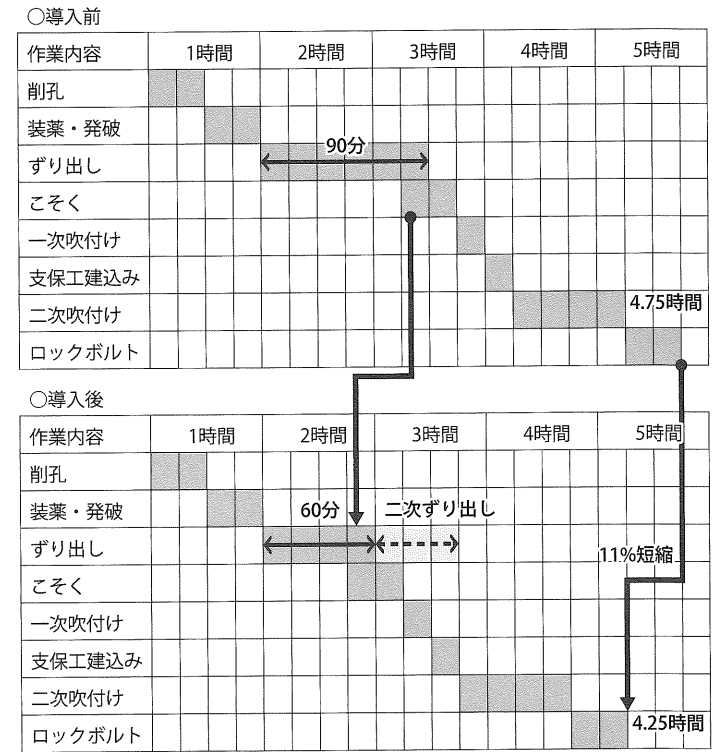


図-7 掘削サイクル(S-マックスシステム)

をとることができたとの意見が聞かれた。

一方、実用面での課題も明確になった。トンネル湧水のある区間では、仮置場周りの排水処理を怠って、ずりを不用意に浸水させると、泥濁化した細粒分とずりがクラッシャへ同時に投入され、フィーダー部に絡み付いて目詰まりを頻発させる要因となった。また、クラッシャ前の仮置き位置に岩盤の風化層があった場合、2次ずり出しに伴う路盤面の不陸が発生しやすく、掘削進行に伴ってクラッシャを移動させると、機体が傾き後方の搬出ベルト上をずりが滑って不具合を発生させることがあった。これらの課題については、継続して検討を重ねている。

3 ロングブーム吹付け機の開発

掘削サイクルタイムを短縮するために、ずり出し作業中から支保作業を開始する方法を検討する一方で、工程遅延の要素となる切羽の崩落を防止することも課題であった。全体計画では良好な地山として発破工法による施工を選択しても、トンネル延長が長くなると破砕帯や強風化層に遭遇する頻度も高くなり、大断面になるほど、小さな岩塊ブロックの抜落ちが大きな崩落につながる危険性も増す。発破直後から進行する切羽近傍の緩みを抑制して崩壊リスクを低減することは、安定した施工速度と安全、品質の確保の観点から重要である。

3-1 ロングブーム吹付け機概念設計

切羽下にずりが残置されている中で、吹付け作業が実施できる機械としてロングブーム仕様の吹付け機を開発した。ずり越しに吹付けするためのブーム長は、近年の高規格道路トンネルに合わせ

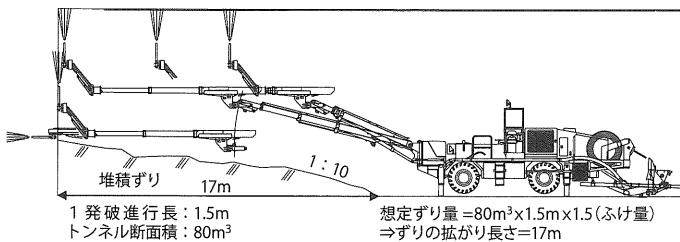


図-8 ブーム長の設定

て、一切羽進行長のずり量を120m³程度、堆積勾配を1:10と仮定し、必要な水平長さを17mとした(図-8)。従来の吹付け機に比べ最大1.4倍もの吹付け範囲をカバーする伸縮可能なブームを搭載したことにより、下記のような特徴を得た。

- ① 長孔発破(4~4.5m)の吹付け範囲を機体の移動なしでカバーできる。
- ② トンネル側方に機体を寄せたまま、一次吹付けから支保工建込み、二次吹付けと支保工に付着したコンクリートの清掃作業までを重機車両の入替えなしに行うことができる。
- ③ 切羽肌落ちによる吹付けオペレータや吹付け機の被災リスクを低減することができる。
- ④ インバート閉合のための吹付け作業では、路盤の法肩から距離を離して機体を配置できるため、機体重量による法肩路盤の崩壊を低減することができる。

3-2 設計課題と仕様

ロングブーム吹付け機の開発にあたり、次の項目が設計課題となった。

(1) 吹付けノズルの振動抑制

吹付け機のブームを長くすることで先端ノズル部の振動が大きくなり、オペレータの吹付け操作が不安定になることが懸念された。その動きを検証するため、模擬ロングブームを装着した実験機を用意して、実際の吹付けノズルワークを再現した。ブーム先端部に取り付けたマーカーの動きをハイスピードカメラで撮影し、ブームをもっとも伸ばした姿勢と、もっとも縮めた姿勢での、振幅、速度および加速度を求めた。

その結果、振幅はほぼ同程度であったが、加速度については、ブームを縮めた状態が伸ばした状態の1.6~2.5倍となる大きな値となった(図-9)。これは、ブームの固有振動数とノズル操作の振動数が重なった場合に共振現象が発生していると説明できたことから、ブームの全可動範囲において共振現象を抑えるために、固有振動数を低減する目的でブーム剛性を強化することとした。

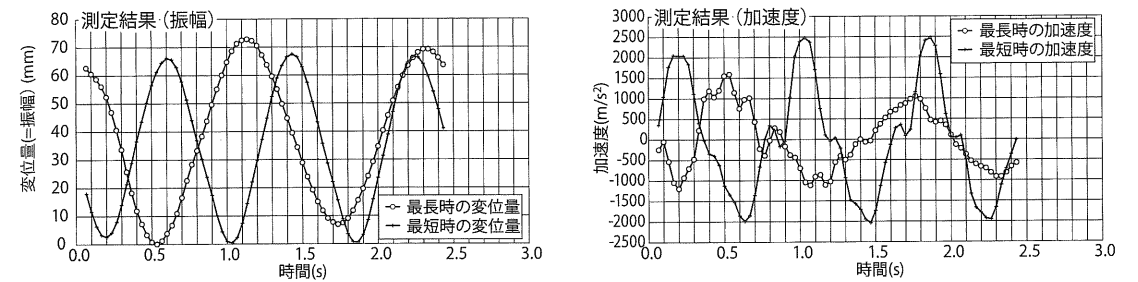


図-9 ノズルの挙動解析

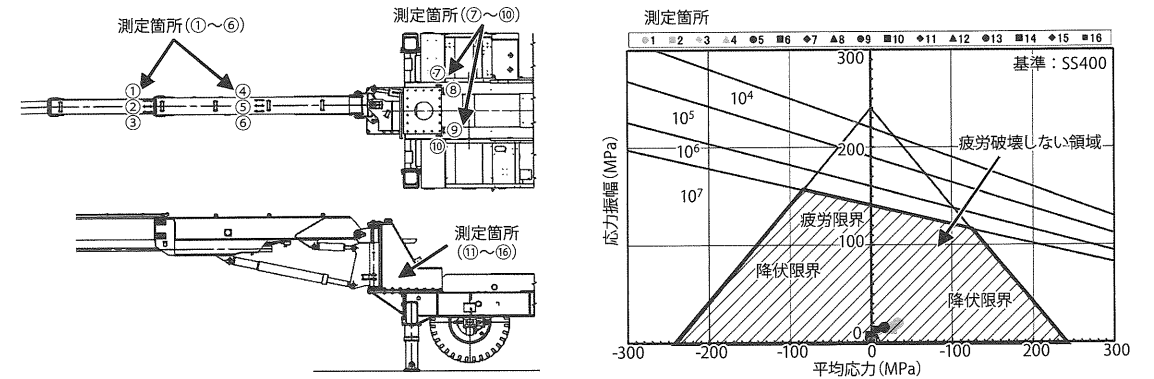


図-10 疲労試験

(2) ブームの耐久性

長尺のブームを使用することによる部材の疲労破壊が懸念された。耐久性を確認するために、組み立てた実車のブームとその接合部付近のフレームに16個のひずみゲージを取り付けて、ブームを振動させて、くり返し荷重を与える疲労試験を行った。各点に発生する応力を測定した結果、すべての測定箇所でも疲労破壊しない範囲に収まり、十分な耐久性を有していることを確認した(図-10)。

(3) 機体の安定性

ロングブーム吹付け機は、従来機に比べてブームが大きく前方に張り出す姿勢となることから、機体の安定性の低下が懸念された。そこで、部材重量を組み合わせた設計シミュレーションを行い走行時と作業時の安定性を照査した。その結果、剛性補強したロング

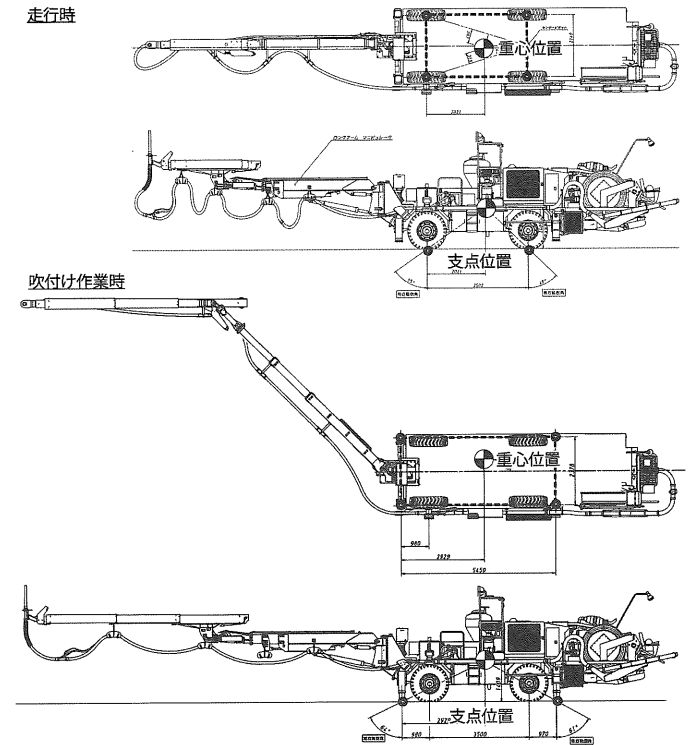


図-11 機体の安定性

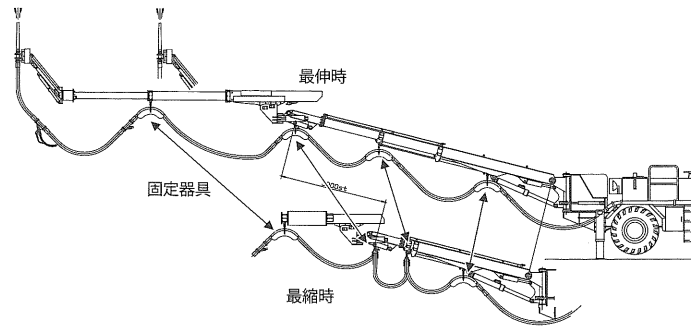


図-12 圧送管の閉塞防止策



写真-4 ロングブーム吹付け機

ブーム仕様において、もっとも不安定な姿勢となった場合でも、重心位置はアウトリガを支点とした前後左右の支点間に収まり、機体の安定性が十分であることを確認した(図-11)。

(4) コンクリート圧送管の閉塞防止
ブームの長尺化に伴い吹付けコンクリートの圧送距離が延びるため、圧送コンクリートの閉塞が懸念された。コンクリートの圧送ポンプからエアの合流部までは通常機と同じ仕様であることから、エア合流部より筒先側の圧送管について、ロングブームに適合する方式の検討を行った。

その結果、耐圧性能は通常の低圧マテリアルホースでも十分満足することがわかったが、長尺化により人力での取回しが難しくなることから、ホースにねじれが発生した箇所での閉塞が起こることが予想された。そこで、通常機では吹付け作業中に地上面を這わせる部分のマテリアルホースを、ロングブーム仕様ではブームに固定して地上面と

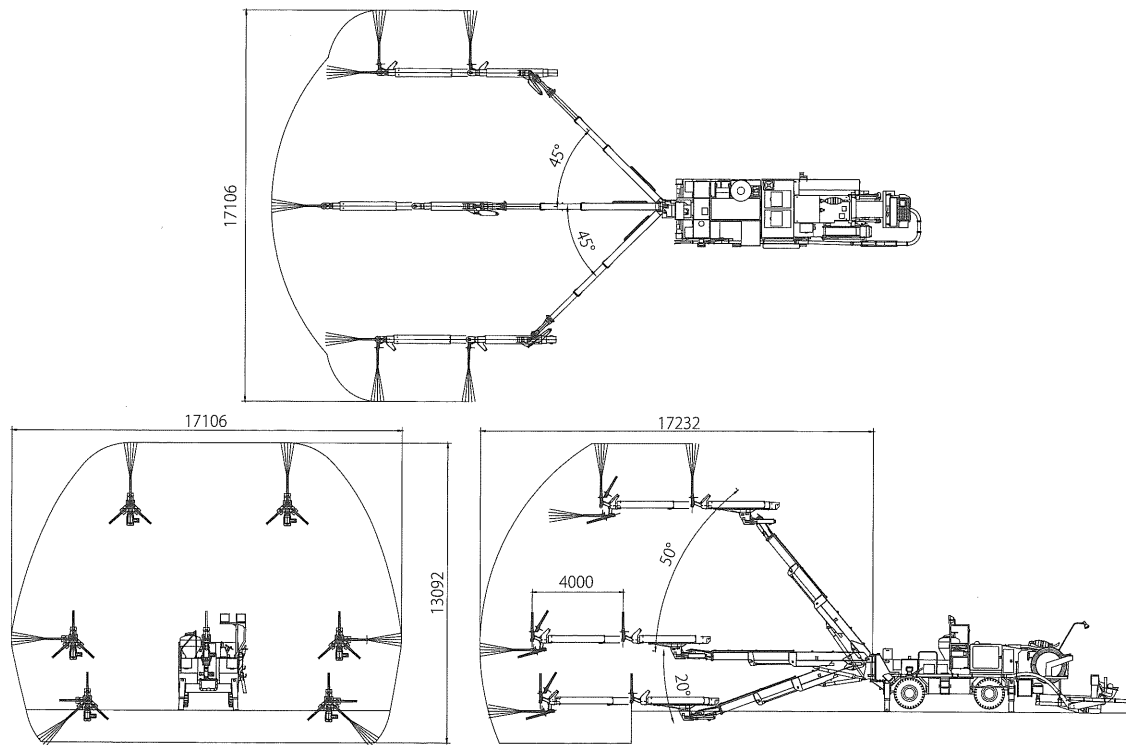


図-13 ロングブーム吹付け機の可動範囲

の接触を避けるとともに、ブーム伸縮の動きとホースの動きが相互に支障とならないよう、固定位置とその仕組みを工夫することとした(図-12)。

(5) ロングブーム吹付け機の仕様

標準機をベースマシンとし、ロングブーム部本体、ブーム取付け部のフレーム強化、ホースガイドを新規に設計して製作、組立てを行った(写真-4)。

ロングブーム吹付け機での可動範囲は、奥行き17.2m、幅17.1m、高さ13.1mを実現した(図-13)。従来機との可動範囲の比較を表-3に示す。

3-3 ロングブーム吹付け機の現場導入

中部横断自動車道宮狩トンネル工事(発注者: 中日本高速道路(株))において、本機を配備した。地質はトンネル南側起点から中央部において第三紀の強風化～弱風化の泥岩、トンネル中央部から北側終点においては地山等級がC I～C II程度の玄武岩質火砕岩で良好な地山となっていた。

(1) 切羽の早期安定

トンネル南側の泥岩区間で小断層が複数出現し、長尺鋼管先受け工を併用しながらの施工となった。弱層面に沿った岩塊の抜落ちや切羽崩落が予想されたため、ずり処理前に堆積ずりの後方より吹付け作業を実施した(写真-5)。切羽からの肌落ちを

表-3 吹付け範囲の比較

| 吹付け可能範囲(m) | ロングブーム吹付け機 | 従来の吹付け機 |
|------------|------------|---------|
| 奥行き | 17.2 | 12.5 |
| 幅 | 17.1 | 13.3 |
| 高さ | 13.1 | 12.0 |



写真-5 切羽の早期安定

抑止し、切羽の安定を確保しながら掘削を進めて、切羽崩壊による工程遅延と経済的損失を防止することができたと考えている。

ブームの伸縮だけで地山状況に応じて柔軟な対応ができる実用性の高い機能を確認できた。また、導入当初は圧送管の閉塞を懸念していた協力業者からも、非常に高い評価を得られた。

(2) 施工サイクルの改善

トンネル中央部から北側終点の玄武岩質破碎岩の区間では、一次吹付けから支保工建込み、二次吹付けまでの一連の支保工作業において、トンネル側面に機体を配置し、支保工の運搬から建込み、支保工に付着したコンクリートの清掃作業まで、生コン車や吹付け機を前後入替える錯綜作業に追われることもなく、各作業をスムーズに進めることができた(写真-6)。

支保工に付着した吹付けコンクリートの清掃は、吹付け作業が終了した箇所から順次開始できることから、とくに高強度吹付けコンクリートの場合

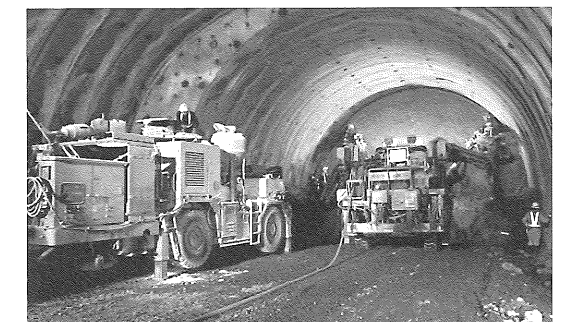


写真-6 支保工建込み中の段取り状況



写真-7 吹付けと支保工清掃の並行作業

○従来機でのサイクルタイム

| 作業内容 | 1時間 | 2時間 | 3時間 | 4時間 | 5時間 |
|--------|-----|-----|-----|-----|-----|
| 削孔 | ■ | | | | |
| 装薬・発破 | | ■ | | | |
| ずり出し | | ■ | ■ | | |
| こそく | | | ■ | | |
| 一次吹付け | | | ■ | ■ | |
| 支保工建込み | | | ■ | ■ | |
| 二次吹付け | | | | ■ | ■ |
| 吹付け清掃 | | | | | ■ |
| ロックボルト | | | | | ■ |

○ロングブーム吹付け機でのサイクルタイム

| 作業内容 | 1時間 | 2時間 | 3時間 | 4時間 | 5時間 |
|--------|-----|-----|-----|-----|-----|
| 削孔 | ■ | | | | |
| 装薬・発破 | | ■ | | | |
| ずり出し | | ■ | ■ | | |
| こそく | | | ■ | | |
| 一次吹付け | | | ■ | ■ | |
| 支保工建込み | | | ■ | ■ | |
| 二次吹付け | | | | ■ | ■ |
| 吹付け清掃 | | | | | ■ |
| ロックボルト | | | | | ■ |

図-14 掘削サイクル(ロングブーム吹付け機)

において仕上がりに大きな改善がみられた(写真-7)。

この良好な地山区間における掘削の平均サイクルタイムを図-14に示す。1サイクルにつき約25分のサイクルタイム短縮を定常的に実現し、全体として約8%のサイクル短縮を示す結果となった。

4 おわりに

筆者らは、「技術を組み合わせる新しい価値を創造する」をコンセプトに技術開発を行っている。本稿では、長距離・大断面トンネル施工の生産性

向上にむけて技術開発を行い、コストの大幅な増加を伴うことなく成果を確認することができた。実施工への導入により明らかとなった排水処理などの課題については、継続して改善検討を進めている。

最後に、これら開発技術の導入に関して快諾、ご協力いただきました国土交通省近畿地方整備局豊岡河川国道事務所ならびに中日本高速道路(株)東京支社南アルプス工事事務所の皆様のご指導および貴重なご意見を賜りましたこと、深く感謝の意を表します。

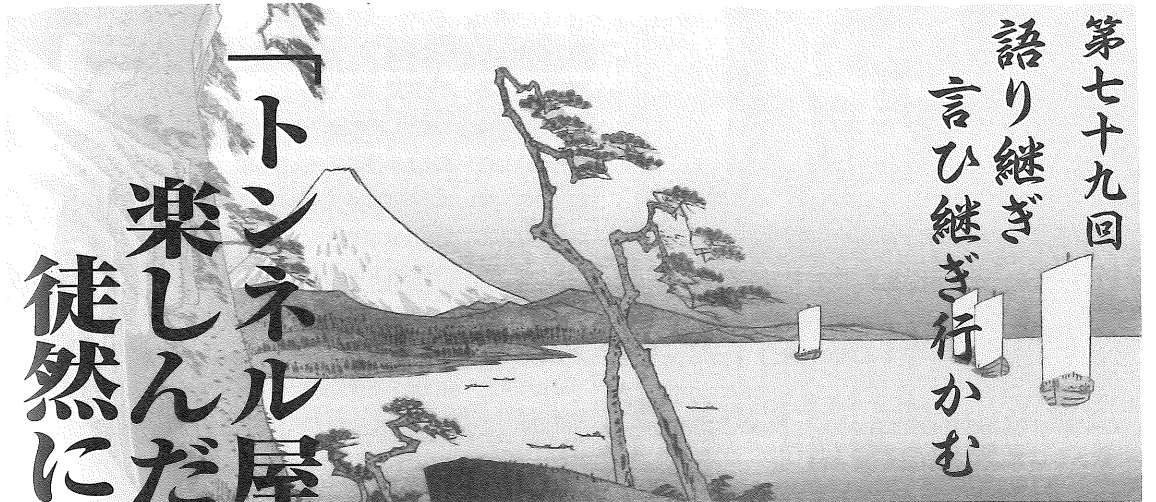
建設工事の地質診断と処方

石井康夫・矢嶋壯吉 共著 A5判 326頁 本体価格 4,300円(〒300円)



株式会社 土木工学社

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



第七十九回
語り継ぎ
言ひ継ぎ行かむ

「トンネル屋として 楽しんだ40年」 徒然にふりかえって

千葉 (元)清水建設(株)

隆

はじめに

日本トンネル技術協会誌『トンネルと地下』の連載「語り継ぎ言ひ継ぎ行かむ」への投稿依頼を受けた。6年前の連載企画当初に協会の会誌WGに所属していたので、改めて企画主旨を確認した。「技術の継承を意識しながら思いのたけをつづってもらおう」とあった。

「技術の伝承」というキーワードが叫ばれてから久しい。われわれ団塊の世代が定年退職し、技術者の絶対数が少なくなったこと、国の基幹産業でもある建設業の魅力が低下していることが大きな要因だと思う。技術を伝承・研鑽させるには、「やって見せて、言って聞かせて、やらせてみる」に尽きると思っている。あえて言えば、もう一つ、技術の裏づけとなる知識を学び、知恵とし、広い視野で物事を判断できる見識を身につける努力も、技術の伝承・研鑽がなされるうえでの必要不可欠な要素

である。

もちろん、トンネル工事の継続なくして技術の継承はありえない。そして三現主義(現場で、現物を見て、現実に即して対処する)の姿勢で現場に取組むことで技術は磨かれていく。

ここでは、「やって見せる、やらせる」ことはもう叶わないので、私がトンネル屋として40年近くで経験したことを、10年程度の世代に区切って、その世代、世代で、また立場、立場で経験したこと、現場で学んだこと・感じたこと、そして、その後のトンネル人生に役だったことなどを徒然に回想、紹介することで、本企画の主旨に沿えればと思う。

伝承の骨子(管理の側面から)

Q: 想像力、良いもの悪いものの物差し、次の起こるであろう事象を想像する力、感性。

C: お金は会社の金の運用を任せられている。よって自分の金以上に大切に使う。



著者(楢森トンネル)

著者略歴

| | |
|----------|--------------------------|
| 昭和48年 3月 | 東北大学工学部土木工学科卒業 |
| 昭和48年 4月 | 清水建設(株)入社 |
| 昭和48年 4月 | 大雪ダム発電所建設工事工事係 |
| 昭和49年12月 | 本社土木技術部トンネル班 |
| 昭和51年 4月 | 東北新幹線鍋沢トンネル他工事工区主任 |
| 昭和58年12月 | 北陸自動車道泊トンネル工事工事主任 |
| 昭和61年 6月 | 関越自動車道関越トンネル上り線水上側工事工事主任 |
| 平成元年 1月 | 一般国道140号雁坂トンネル工事主任技術者 |
| 平成 4年 4月 | 東北新幹線三戸トンネル(北)他工事現場代理人 |
| 平成 8年 4月 | 第二東名高速道路富士川トンネル西工事現場代理人 |
| 平成15年 4月 | 土木事業本部技術第2 部部长 |
| 平成23年 3月 | 清水建設(株)退社 |

- D: 所長⇒半年後の予測
課長⇒1 か月後の予測
3 席⇒1 週間後の予測
係員⇒明日の予測
- S: 安全の物差し・トンネルとは自分なりのイメージを造る、違和感を感じる感性、何かが違う、何かある、不具合感知のセンサー。

20代 トンネルの面白さを実感し トンネル屋を志す

入社後最初の配属は北海道支店、現場は大雪山系の山間にダムを新設する工事、その中の発電所新設工事であった。

右も左も、測量道具の名前さえよくわからず、先輩に怒られ、泥んこになりながらも走り回った。こんなことをやらせるために親は学資を送り続けたわけではないと思ったことは1度や2度ではない。そんな思いをくり返しながら、少しずつ周りが見えてきて、土木屋の世界に足を突込んでいった。このときの我慢が土木屋の1歩であ



鍋沢・薬師トンネル導坑貫通

り、その後のトンネル屋人生を楽しむものにした基礎だと思っている。

その後、本社へ転勤し、内勤でトンネル技術を1年半学び、27歳のとき、大宮以北の新幹線トンネル工事に配属になった。当時の上司からの送別の言葉「土木屋でもとくにトンネル屋になりたいならば『常に臆病であれ、かつ大胆であれ』」をいただき、いまでも座右の銘のひとつとして、大切にしている。

この東北新幹線鍋沢・薬師トンネルは本格的なトンネルとの接点で、筆者がトンネル屋としてスタートした思い出深い現場である。

トンネル施工は底設導坑先進上部半断面工法で、軟岩では一般的なトンネル工法であったが、導坑掘削に英国製で全断面对応の自由断面掘削機(ロックトンネラー)を採用した。ロックトンネラーは回転アームに2個のスライドするドラムがついており、導坑を円形断面で掘削できる機械である。国内

で初めての採用でもあり、試行錯誤しながらの施工であった。筆者が導坑担当。当然初めての経験。まして施工経験による技術も知恵の蓄積もない中でも、諸先輩がたの指導を仰ぎながらも、今まで培ってきた知識や道理を駆使して知恵に進化させ施工技術の精度を上げて掘削を終えた。

この現場ではいろいろ失敗もした。突起位置だしの測量を間違え、やり直したり、測量の最中にバッテリーカーに足場にしていた梯子が轢かれ、あわやというときもあった。シノを持った職人に追いかけられたり、重機を無資格で乗り回し、斜路で身動きができず、ブレーキを掛けたままで助けを待ったことなど。赤面するばかりであるが、その後のトンネル屋の感性を磨くうえでの大きな糧を得た現場であった。

今でもトンネル現場で新入社員に接する機会があれば「トンネルは危険がいっぱい、何が起きるかわからない、起きてもおかしくない、今、君のいちばん大切な仕事は自分の身をいかに守るかを学ぶことだよ」と言い聞かせている。

また、機械掘削の地山への適合の難しさを体感した現場でもあった。未固結の溶結凝灰岩に遭遇したときにはトンネラーが矢板にて山留めする際の足場となったこともあった。

工事区の助役から「切羽は金太郎あめではない。1切羽、1切羽変化し、切羽ごとに新鮮な気持ちで新しい美人と出会うのがトンネル屋の醍醐味だ」という言葉を

もらい、毎日の切羽通いが楽しみになったことを思い出す。

ここで大きな財産になったのは、トンネル現場は、けっこう危険と隣り合わせの環境であり、自分の身を守り、かつ職人さんを含めた周りの人の身を守るといふ、常に緊張感を持たねばならない環境にあるが、メリハリのきいた時間を過ごせる職種でもあり、トンネル屋としてのやりがい、男気を実感したことである。

20代、それは土木屋、ひいてはトンネル屋としての資質を決定する時期。無駄に過ごさぬよう、常に主体的に物事にかかわり、「これでよいのか」「これしかないのか」を、常に自問し感性を研ぎ澄ましてください。

30代 組織の中堅として 現場運営に直接かかわり トンネル屋として立つ

30代はまさに技術屋としてさまざまの経験が肉となり、トンネル屋の感性が、そして技量が磨かれ

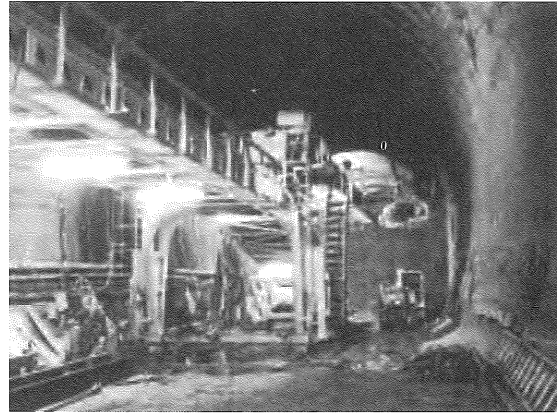


楢森トンネル貫通

る時期である。ここでいう感性とは、良いものは良い、悪いものは悪い、不安全なものは不安全、というように、不具合を不具合と感じる能力のことである。この感じる能力の精度を五感を駆使して向上させるために、われわれは日々つらい仕事もこなしているといっても過言ではない。

1979(昭和54)年6月、秋田県玉川ダム付け替え道路トンネル工事に主任技術者として赴任。このトンネル工事では主任技術者として地元対応、発注者対応、社内対応、協力会社対応など、工事を進めるうえでの現場経営を実践した。とくにこの時期、大切と感じたことは、地元や発注者から信頼が得られるようになることはもちろんであるが、人間関係の構築、とくに事務所の仲間と職人たちとの信頼関係が、工事のスムーズな進捗には必要不可欠ということである。

初めて自分で企画した貫通の祝いで、美酒に酔いしれたのもこの現場でのこと。われわれトンネル屋はこの貫通という一瞬の感激を



第3重内トンネル2段トレンローダー

享受するために日夜兼行で苦労しているといっても過言ではない。

この楢森トンネルを皮切りに30代では、北海道側の新幹線フル規格仕様のNATMトンネル、軟弱地盤と地滑りが課題の北陸自動車道トンネル、そして急速施工が課題の関越トンネルを経験し、自分のトンネル屋としての感性の精度を高めていったと思っている。

第3重内トンネルは当社NATM施工の草分け的なトンネルである。立場は3席で現業主任として現地のQCDS、とくにQDSをあずかった。施工法は上下半併進のミニベンチカット工法で、上下半ともロードヘッダー(MRH-S90)を配置し、すり出しには上下半2段トレンローダーを使用した。また上半にはトラクターショベル(CAT953)、下半にはバックホー(UH0.25)を積み込み用として配置した。

ここでは鍋沢・薬師トンネルの機械施工と反対に、硬岩地山に遭遇。とくにノジュール状の硬質部で発破を併用せざるを得なくなり、機械掘削時の地質の評価と機種選



泊トンネル貫通

定の難しさを改めて味わった。機械掘削採用時には地質調査を十二分に行っても評価には限界があり、評価を安全側に行うか、設備に柔軟性を持たせ、余裕のある能力選定を行うことが必要では、という思いを持った。

その後、北陸支店最初のNATM施工に携わった。立場はJV3席でトンネル工事主任。代理人指導のもと、QCDSのすべてにおいて中心的に役割を果たした。

この泊トンネル工事の特徴は、延長はL=713mと短い、坑口となる丘陵部は地滑り地形で、土かぶり小さな崩積土層が220mも連続していることで、沖積および洪積粘土の掘削となるので掘削当初より地滑り、湧水、掘削工法などについて調査・検討を行いながらの施工であった。結局6か月程度の検討期間を要し、地滑り区間は地滑り抑止を兼ねた親杭横矢板による山留め開削工法(43m/220m)を、沖積粘土区間は側壁導坑先進上部半断面工法(39m/220m)を、洪積粘土区間はNATMベ

ンチカット工法(138m/220m)を計画し、施工した。

ここで、トンネル屋として欠かさない地質・水について系統的に勉強した。また地滑り、切羽安定、トンネル沈下、湧水などの各種調査・計測を実施し、その評価基準をトンネル施工という観点から見つめたのもこの現場であった。

当時はまだNATMの補助工法が確立されておらず、現場でそれぞれ工夫した対策を行っていた。沈下対策に吹付け脚部の拡幅やボルトを打ったり、初めてウレタン注入を切羽の安定に使用したのもこの現場であった。

地滑り区間の施工法は、結局、開削になった。しかし、当時筆者は載荷盛土トンネル案が良策と考えており、技術士受験の際に記述させてもらったが、いまだにもう少し自分の考えに固守すべきだったのではと反省している。

貫通を采配し、美酒に酔いしれて間もなく、道路公団の硬岩・長大トンネルの現場にサブの立場で工事主任として赴任した。この関越トンネル上り線水上側工事は、

40代 蓄積した技術で現場運営 トンネル屋として惑わず

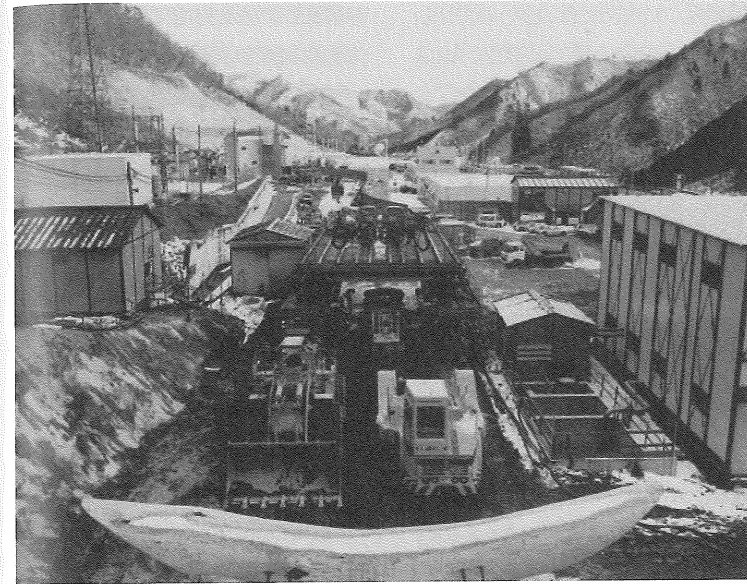
40代はそれまで蓄積してきたトンネル屋としての感性を実践する時期である。

1989(平成元年)1月、一般国道140号雁坂トンネル山梨側工事に従事することになった。この雁坂トンネルは、甲斐と秩父間約10kmが通行不能で、「開かずの国道」と言われてきた部分を拓く長大トンネルであり(全長6,625m)、山梨工区からはそのうちの本坑L=3,662m、避難坑L=3,653m、換気斜坑L=1,572m、集塵機室、地下換気所をそれぞれ1か所施工するものであった。

ここではJVサブでの出向で3席(主任技術者)、工務課長として工事に携わった。トンネルの課題は花崗閃緑岩を主体とした硬岩地山とトンネル中央部付近からの砂岩、粘板岩との境界をなすホルンフェルス区間が擾乱帯を形成していることであった。

避難坑を約1,000m掘削中、山はね現象に遭遇した。発破後、すり出し作業中に山鳴りとともに切羽天端部左肩より薄片状の岩塊1~2m³が剥落し、その後も断続的に山鳴りとともに山はねの兆候が続いた。

山はねは、トンネル用語辞典によれば「トンネル掘削において掘削周辺の岩盤の一部が大きな音響を伴って内空に突然飛び出す現象である。この現象は、地山岩石中に蓄えられた弾性ひずみエネルギー



関越トンネル急速施工機械

I期線供用から8か月後に発注されたII期線工事で、発注経緯からも急速施工が求められた(全長L=11,010m、水上側区間L=5,530m)。具体的にはI期線工事での4.6年の掘削工期を、II期線工事では3.6年を目標工期として設定され、結果として3年の実工期で終わらせることができた(平均月進:154m/月、最大月進:237m/月)。

この急速施工が実現できたのは、①I期線の存在、②すり出しなどに新工法の採用、③大型機械の採用、④避難坑利用の坑道換気や坑内舗装などの坑内作業環境整備、などによるところが大きかった。

しかし、それ以上に、職人の一人ひとりが事業の意義と課題を理解し、持ち場、持ち場をそれぞれが自主管理することにより、とくに機械トラブルを極力少なく、その性能を最大限活用できる仕組みと体制を構築したリーダーがいたこ

とと、その意向に沿い職人をやる気にさせたリーダーがいたことが一番の要因と思っている。

JVサブで、どちらかという冷静に全体を見渡せる立場から、この現場では、トンネル施工の技術的なハード面もさることながら、ソフト面においても、将来、現場運営での所長の立場になった際に「カクアラン」と思うことをたくさん勉強させていただいた。

先日、サイエンスチャンネル『匠の息吹を伝える～“絶対”なき技術の伝承～(19)安全性を貫いて3万m～山岳トンネル』で思いがけなくもそのリーダーたちの懐かしい姿に接した。

30代!まさに怖いもの知らずにトンネル屋の感性を磨けるときです。

いろいろな人や事象に興味を持ち、体験して、いかなる局面でも選択可能な引出しをたくさん用意してください。

ギーが解放されることにより発生する」とあり、土かぶりが大きく、岩盤がマッシブな場合に起こりやすいとされている。

雁坂トンネルで遭遇した山はねの位置は、土かぶりが200mと比較的小さいが、マッシブな花崗閃緑岩であった。山はねの兆候は、実際に岩塊がはねる以前からあった。筆者は過去に硬岩地山での発破後の残留ひずみの解放で地山がピシピシと鳴ることを体験しており、200m程度の土かぶりでの山はねは予想だにしていなかった。この苦い経験を技術士試験に記述した。

山はね対策は、①山はねそのものを防止(抑制)する方法と、②山はねの発生に対し、作業の安全を確保する方法とに大別されるが、山はねそのものの発生機構が十分解明されておらず、②の対策を主体に講じることとした。具体的にはAE計測による予知の試行、フリクションタイプのボルト、スチールファイバー混入の吹付けコンクリートの採用など、それと同時に各種調査・計測も行った。

地山の初期応力の計測結果は、トンネル周辺では初期の水平応力

が卓越(水平が鉛直の3~5倍)した初期応力場になっており、山はね現象が天端付近に集中したことをよく説明していた。100mほど山はねが続き、その後は小康状態となった。

擾乱帯で予想された高被圧水調査のため避難坑にボーリング座を設け、手前100mからボーリングを実施、ホルンフェルス終点付近で15kgf/cm²以上(口元管が不十分で正確な水圧は計測できず)の高被圧水を確認した。ロットが押し出されるなど、ボーリング施工自体に難渋した。避難坑切羽到達までには水圧の低下は見られたが、掘削作業において、穿孔水の逆流や装薬が困難になるなどの問題が起き、ローディングパイプを使うなど一つひとつ問題を解決しながら被圧水区間を突破した。

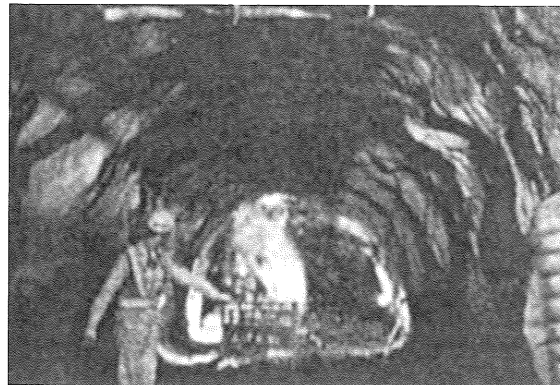
ここでは山はねをはじめトンネルの怖さを実体験するとともにトンネルでは何が起きるかわからない、また、何が起きてても不思議はないことを実感し、いかに有事の際の責任者の判断が重要かを見せてもらった気がする。筆者はその後トンネル現場の責任者として現

場をあずかる立場になったが、管理者の感性の質がいかに大切かを再認識した。

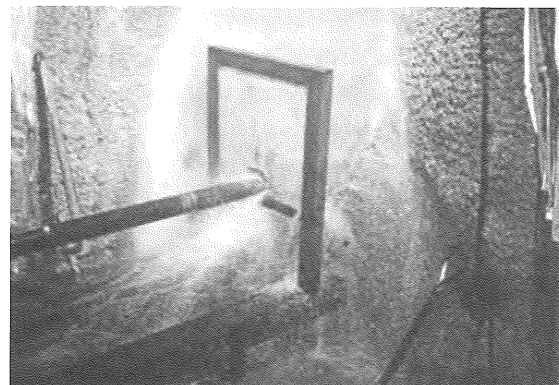
筆者には社内でトンネルの師と仰ぐ先輩はいたが、関越トンネルのM所長からは組織の運営を、雁坂トンネルのS所長からは有事の対応・処理能力を学ばせてもらい、感性の更なる向上の必要を感じた。

その後、現場責任者として2現場に従事した。1つは当社で久しぶりの4,000m級の盛岡以北の新幹線トンネル工事で、もう1つは超大断面の第2東名トンネルである。

三戸トンネル(L=8,250m)は盛岡以北、八戸までの整備新幹線の北端に位置し、北工区はそのうち4,125mを施工したものである。ここでは初めての現場代理人でもあり、かつ立上げからの現場で、いかに今までの経験を見える形にできるかが自分の課題であった。そこで、4,000m級とトンネルが長いことから、効率の良い急速施工が可能な機械選定、作業環境整備を課題とし、ずり処理にシャフローダーとコンテナの組合せを採



雁坂トンネル山はね



雁坂トンネル被圧水

用、運搬路整備のため坑内仮舗装を実施してずり処理の効率化と坑内環境の改善に努めた。

施工上の問題点は坑口より500m付近で遭遇するであろう小土かぶり部での帯水砂礫層の水位低下と砂礫の掘削方法であった。事前にディープウェル揚水量などの予測検討を行い、計画、施工したが、予想と反し、帯水量が予想をはるかに超えていたこと、実際の地山の透水係数が予想より10°程度大きくポンプ能力が小さすぎたことやディープウェル間隔が広すぎ、かつ基岩がトンネル基面近くにあるため1本でのディープウェ

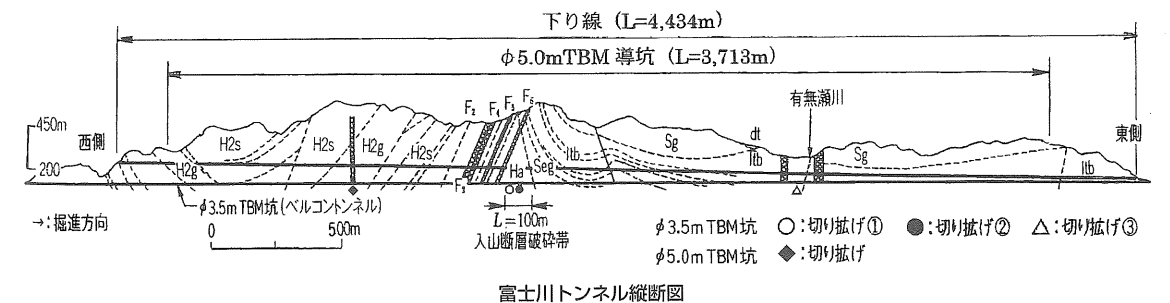
ル効率が悪いことなどにより、トンネル周辺の水位が十分に下がらなかった。

そこで坑内切羽からも水抜きボーリングを左右に2本施工した。途中、発注者から「千葉さん、ビビって慎重すぎない?」と言われたが、トンネル肩部まで水位が下がるまで切羽を休止。50日後に切羽掘削を再開した。

水位低下後の砂礫層は均等係数U₀が7前後と流動化しやすく、上半を2段ベンチにして、もろもろの切羽安定対策を講じた。先受けのうち安価で効果が上がったのは単管パイプ(3m)を20cm間隔



三戸トンネル坑内



富士川トンネル縦断面図

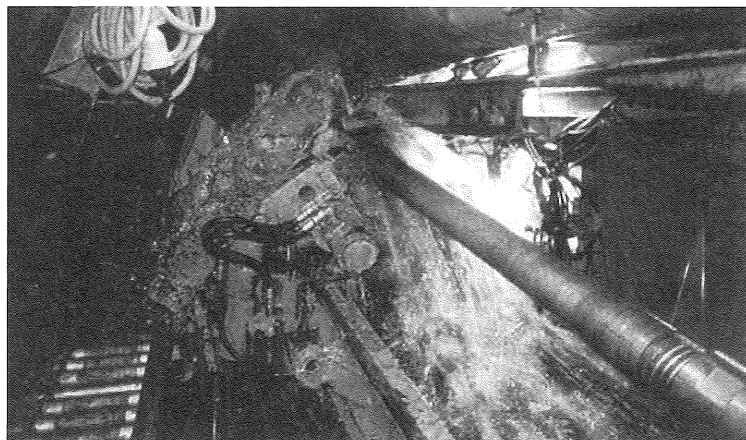
でドリフターにて打撃圧入した補助工であった。約4か月半に及び悪戦苦闘ののち130mの砂礫区間を突破した。この現場ほど、かつて先輩に言われた、「トンネル屋は臆病であれ、かつ大胆であれ」の言葉が身に染み込んだことはない。

4年間三戸トンネル工事に従事し、掘削途中ではあったが1996(平成8)年3月、静岡の第二東名富士川トンネル西工事に転出した。

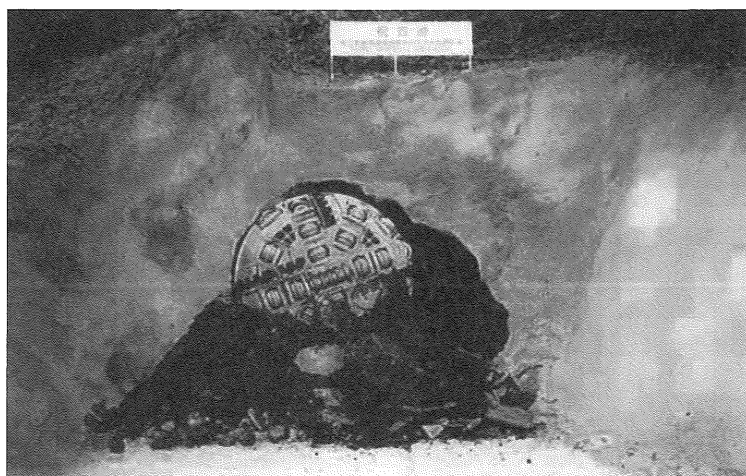
ここも立上げからの現場で、第2東名という国家的なプロジェクトの初期的な案件で、後続案件の範を示すという指導もあり、事務所の仕様にも配慮した。

富士川トンネルは全長L=4,520m(上り線)、4,434m(下り線)、掘削断面積A≒190m²と長大かつ超大断面トンネルである。西工事は、将来、東工区が西工区側にずりを搬出するためのTBMによる作業坑(L=4,756m、φ=3.5m)、本坑のTBMによる先進導坑(下り線L=3,713m、φ=5.0m)、本坑(上り線L=2,577m、下り線L=1,975m)がおもな工事内容で、工期が9年にわたる大規模な大型トンネル工事であった。

ここに筆者は代理人として5年半在籍し、ずり搬出用のTBM作業坑および本坑アプローチ作業



富士川トンネルTBM作業坑被圧水



富士川トンネルTBM貫通

坑と本坑の一部(TBM発進・到達基地)および本坑でのTBM導坑の施工を陣頭指揮した。

執者にとってTBMを扱うのは初めてであったが、若いころ福島の新幹線工事で全断面掘削機ロックトンネルの施工経験があった。この現場には清水建設の数少ないTBM経験者やシールド経験者、ベテランの機電担当者などが常駐し、計画・施工スタッフがそろっていた。

代理人の仕事の大部分は、工事を進めるためには社内外のいろい

ろな雑事があることから、これらをできるだけ引受け、スタッフができるだけ雑事に時間を取られず担当業務に集中できるような業務環境や現場内を含めた作業環境整備そして組織・体制作りだと思っている。

あとは不具合やトラブルの発生頻度をできるだけ少なくするべく、目配り、気配りすること、そして有事の際には全身全霊を傾け影響度をもっとも少なくなるような対応をすることと思っているが、TBMには非常に興味があった。

掘進は、押し出し性の地山、半固結砂礫層、固結度の低い凝灰質火山岩での大量被圧湧水などに遭遇し、TBM掘削成立の要件である切羽の自立が確保できず、切羽崩壊対策や坑壁の崩落・崩壊対策および被圧湧水対策などを駆使しながらの施工となった。

φ3.5mの作業坑TBMでは3回の締付けによる拘束が、φ5.0mの先進導坑TBMでは1回拘束があり、それぞれ矢板工法により切広げを行った。1回の拘束から切広げて再出発するのに3週間を要した。もろもろの対策のうち水抜きボーリングと簡易ライナーの採用が安定した進行に寄与した。

作業坑と先進導坑の平均月進はそれぞれ221m/月、261m/月、最大月進は565m/月、542m/月であり、どちらも予定進行は達成できなかった。

先進導坑TBMでの掘進では断層破砕帯部で、とくに押し出し性が大きな100m間は、作業坑での経験から、掘削後の内空変位速度が150mm/日と大きく、締付けによる拘束が考えられた。この拘束を避けるためには1日あたり1機長分(約10m)の確実な進行を確保しなければならなかった。そこで毎サイクルで切羽崩壊防止のための注入を実施し、簡易ライナーを採用し、方向制御は犠牲にして休みなしの連続掘進を行い、曲がりながらも13日で本坑断面内で突破できた。この100m間がいちばん納得できた技術屋らしい対応であったと思っている。

φ3.5mとφ5.0mの2種類の

TBMで、合計8,500m近い施工に携わった、使ってみての感想は外観のわりに非常に繊細な機械で、ちょっと手を抜くとすぐにしっぺ返しを受ける結構扱いの難しい機械ということ、裏を返せば扱い方や地山条件を含め、環境さえ合えばトンネル施工には理想的な機械でもあり、使いこなせるノウハウを培わなければいけないということであった。

48歳から52歳まで富士川トンネルの施工に携わり、先進導坑の貫通を見届け、2001(平成13)年10月いっぱいまで本社技術部へ転出した。

40代はいろいろな意味で成熟する時期です。自分なりのトンネル屋のイメージ、そしてトンネル工事を進めるうえで自分なりの容を培い、自信を持った現場運営をしてください。

おわりに

「50にして天命を知る」まだまだ早い、もっともっと感性を磨く努力をしなければ!!

それぞれの年代での自分の思いのたけと体験を徒然に回想してみた。今の世代とどのくらい共有できるかはわからないが、世代、世代でのトンネル技術者の心持ちの一助になればと思う。

最後に、最近トンネル現場にお邪魔して不具合をキーワードに会話する機会を作っている。トンネル屋の想いの一端を紹介して筆を終える。

不具合は起こるものです。

QCDSSEにかかわる不具合は細心の配慮を心掛けても、大なり小なり起こりうるもの、ということをお前提に、現場管理を行ってください。ただ、各人の心掛け、あるいは対応しだいで、不具合を顕在化させ、芽のうちに摘出し、影響が小さなうちに改善することは不可能ではありません。

そのためには日ごろより、担当業務で可能性のある不具合の想定と対応について、くり返し、くり返し疑似体験して、いざというときに戸惑うことのなきよう、日ごろから訓練しておくことが大切です。またこの疑似体験する際の想定問答の精度次第が個人の技量の発揮どころです。

われわれは、担当者ごとの業務で、それぞれ責任を持って担当範囲でのQCDSSEを管理しているわけですが、作業所全体のQCDSSEを管理状態にするには、単独ではなく微妙に重なり合っているそれぞれの担当業務でのQCDSSEを、全体としてバランス

が取れている状態にしなければなりません。ここで大切なことは、この微妙な重なり合いを結びつけているのが会話、すなわちコミュニケーションだということです。

これらの会話が活発になされているときは、たとえ雑談のなかからでもそれぞれの問題が顕在化して、みな共通認識になっていきます。

反対にこの会話が途切れたときに作業所全体のQCDSSEのバランスが崩れ、不具合の発生要因や不具合の顕在化が妨げられ、不具合を未然、あるいは初期摘出して、影響を最小限に抑えることへの阻害要因になります。

現場には必ず不具合の芽があります、この芽を顕在化させ改善するか、潜在化してしまい突如大きな不具合となるかがこの会話の質と量によります。

とにかく事務所内での会話を大切にしてください。上司は会話が上がってくる雰囲気づくりを心掛けてください

そして、せっかくある期間、身を置いて仕事をしなければならぬ以上、仕事を楽しんで、楽しく仕事をしてください。自分たちの心掛け次第で、少しでも致命的な不具合を減らすことができるかもしれません。

土木情報 No. 517

今月の主な入札結果 (5月10日～6月9日)

| 事業主体 | 工 事 名 | 請 負 会 社 | 請負額 単 位 百 万 円 |
|-----------|---------------------------------------|----------------|------------------------------|
| 中国四国農政 | 吉野川下流域農地防災事業第十幹線水路(1工区その5)建設 | 前田建設工業 | 3,163 |
| 関東地整 | 東京国際空港際内T他築造等 | 清水・五洋JV | 22,420 |
| 〃 | 東京外環大泉地区改良(その2) | 飛鳥建設 | 3,328.8 |
| 近畿地整 | 和歌山岬道路平井T(大阪側) | 若築建設 | 500 |
| 四国地整 | H28一原生原T | 大豊建設 | 459.5 |
| 都市再生機構 | 赤羽台団地地下その1他1件 | 坂田建設 | 875 |
| 日本下水道事業団 | 北九州市東中島ポンプ場雨水滞水池建設 | 梅林・池間JV | 595 |
| 中日本高速道路 | 新東名高速秦野IC | 竹中土木・日本国土JV | 14,503 |
| 西日本高速道路 | 湯浅御坊道路鳥松山T | 大林組 | 5,625 |
| 〃 | 長崎道平間T | フジタ | 1,480 |
| 岩手県 | R107梁川T(仮称)築造 | 飛鳥・ピーエス三菱・佐藤JV | 2,239.48 |
| 都・下水道 | 南元町幹線その2 | 戸田建設 | 289.6 |
| 〃 | 立会川幹線雨水放流管その2 | 清水建設 | 5,718 |
| 愛知県 | 日光川下流域下水道事業管きょ敷設(花長工区) | 加藤・山田・大篠JV | 660 |
| 東京地下鉄 | 銀座線浅草駅折返し線延伸に伴う土工工事 | 熊谷組 | 2,488 |
| 広島高速道路公社 | 高速5号線シールドT | 大林・大成・広成JV | 18,518.51 |
| 福岡地区水道企業団 | 大容量送水管整備事業大野城市瓦田送水管布設(その2) | 鴻池・松尾・松鶴JV | 1,027.70 |
| 水戸市 | 国補公下那珂川第1排水区枝線(4-1工区) | 東洋・常磐JV | 142 |
| 〃 | 〃 (4-2工区) | 秋山・海老沢JV | 101.4 |
| 神栖市 | 神契公告第32号, 28国補北公共埠頭1号雨水幹線整備 | 常総・大平JV | 550 |
| 東海村 | 第28-23-105-K-601号, 中央地区46・48号中央雨水幹線整備 | 大興・三建JV | 164.3 |
| 蕨市 | 錦町雨水管渠築造(28-1工区) | 村本建設 | 238.48 |
| 市川市 | (仮称)北市川運動公園雨水貯留施設整備 | 三徳建設 | 284 |
| 旭市 | (第1号)蛇園南地区流末排水路排水路整備(28-1工区) | 遠藤建設 | 130 |
| 横浜市 | 西部処理区相沢第二雨水幹線下水道整備 | 鴻池・森・壺山JV | 1,846.17 |
| 〃 | 〃 上飯田下飯田雨水幹線下水道整備 | 奈良・水村JV | 436.13 |
| 〃 | 南部処理区白金地区下水道再整備(その2) | 石田建設 | 374.73 |
| 〃 | 栄処理区大面川第二雨水幹線下水道整備 | 西松・東鉄・松尾JV | 3,614.3 |
| 〃 | 都筑処理区さちが丘地区下水道整備(その33) | 奈良建設 | 366.87 |
| 呉市 | 旧庁舎解体撤去および雨水貯留施設整備 | 広成・増岡JV | 719.49 |

続きの庭にも温泉が出る

その後の温泉開発と建設の考え方

石井康夫・俣野恭寛 共著 新書判 217頁 本体価格 1,200円 (〒210円)



株式
会社 **土木工学社**

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

施工

小口径シールドで複合地盤を長距離掘進

—堺市下水道 百舌鳥深井汚水線(処理場ネットワーク管)—

堺市上下水道局下水道部下水道建設課長 **櫻本 浩**
日本下水道事業団西日本設計センター事業推進役 **佐藤 幸夫**
日本下水道事業団近畿・中国総合事務所大阪湾事務所 **工内 由香**
戸田・木下特定建設共同企業体所長 **原 昌広**

1 はじめに

堺市上下水道局では、^{さんぼう}三寶下水処理場、^{いしづ}石津下水処理場、^{せんぼく}泉北下水処理場の3つの下水処理場をネットワーク管でつなぐことにより、流入水量を振分け、施設の再構築時に流量調整を行うとともに、災害時には相互にその能力を補完することを目的とした事業を進めている。

3つの処理場のうち、石津下水処理場と泉北下

水処理場をつなぐ全長約8.6kmのネットワーク管のうち、図-1に示すとおり旧石津処理区の深井地区および^{もす}百舌鳥地区の一部を泉北下水処理場へ切り替える処理区再編用の幹線が「百舌鳥深井汚水線」である。

本稿では、複雑に変化する地層を対象として約3.7kmの長距離の掘進をセグメント内径1,844mmの狭小空間で作業を行うことを考慮し、シールドなどの耐久性、急曲線部の施工性および坑内作業の安全性を確保するために行った対策を中心に報告する。

2 工事概要および地質概要

2-1 工事概要

本工事は、泥水式シールド工法により、泉北下水処理場内に構築する発進立坑から東側に約2.2kmの地点で、半径40mの急曲線で北方向に向かい、さらに1.5km掘進する全長約3.7kmを掘削するものである。

工事概要は以下のとおりである。

工事件名：堺市百舌鳥深井汚水線建設工事

工事場所：大阪府堺市中区八田西町地内～

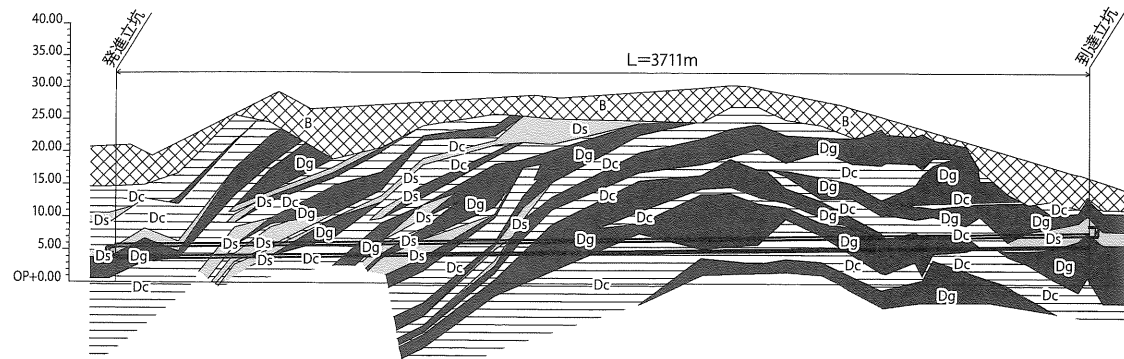
堺市北区百舌鳥陵南町地内

工 期：2015(平成27)年1月24日～

2017(平成29)年3月17日



図-1 再編対象エリア



| 地質区分 | 記号 | 記事 |
|--------|----|---|
| 盛土層 | B | 層厚数mで全線を覆っており、砂礫、砂、粘土およびその混合物で構成される |
| 洪積砂礫層 | Dg | 砂礫および一部砂質土。礫径は概して小さく、マトリックスは中～粗砂が主体。N値は表層部では10程度を示すが、おおむね50回以上でよく締まっている。 |
| 洪積砂質土層 | Ds | 主として砂～シルト質砂で構成され、N値は砂礫層と同様に50回以上を示す。 |
| 洪積粘性土層 | Dc | 砂質シルト～シルト～砂質粘土～粘土といった層相。硬質の粘性土で表層部ではN=10程度であるが、深度とともに増大し、最下部ではN>20となることが多い。 |

図-2 地質想定縦断面図

工事内容：

- 泥水式シールド工法 仕上がり内径 1,500mm
- シールド 外径 2,130mm
機長 L=3,711m
- スチールセグメント 外径 2,000mm
内径 1,844mm
- 人孔築造工 No.2 特殊人孔 1か所
- 立坑工 No.1 発進立坑 1か所
No.2 到達立坑 1か所
- 地盤改良工 発進防護
No.2 立坑防護
到達防護

2-2 地質概要

本工事場所は、大阪盆地南端部の中位段丘～高位段丘上に位置する。

シールド通過の地盤は、第四紀更新世の上部洪積層～大阪層群上部の砂、礫、粘土の互層で土質の変化が激しい地層である。

洪積粘性土層のN値は、深さとともに増大する傾向がある。洪積砂質土・礫質土層の透水係数は 10^{-2} ～ 10^{-3} cm/secで比較的高く、被圧されている。また、これらの層は、密な締めり具合で堆積しておりN値は50以上を示す。礫層はφ2～30mm程

度の細礫が主体であるが、ごくまれにφ60mm程度の大礫が混入する。

- シールド掘進の諸元は以下のとおりである。
- 土 か ぶり：7.9～23.4m
- 最小曲線半径：40m
- シールド掘進勾配：0.55%の上り勾配

図-2に地質想定縦断面図を示す。

3 検討内容

3-1 セグメントの概要

長距離の掘進における工期の短縮と経済性確保の観点から二次覆工はFRPM管を内挿する仕様とし、セグメント外径を標準より150mm小さい2,000mmを使用することにした。図-3に坑内断面図を示す。また、セグメント幅と桁高は以下のとおりである。

- セグメント幅：一般部 900mm
R=40m 曲線部 500mm
- 桁 高：75mm

3-2 シールドの概要

本工事において採用したシールドの構造を図-4、カッタヘッドの構造を図-5に示す。また、シールドの仕様を表-1、シールド全景を写真-1に示す。

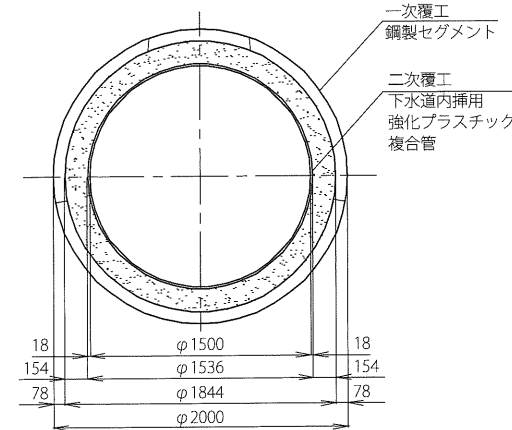


図-3 坑内断面図

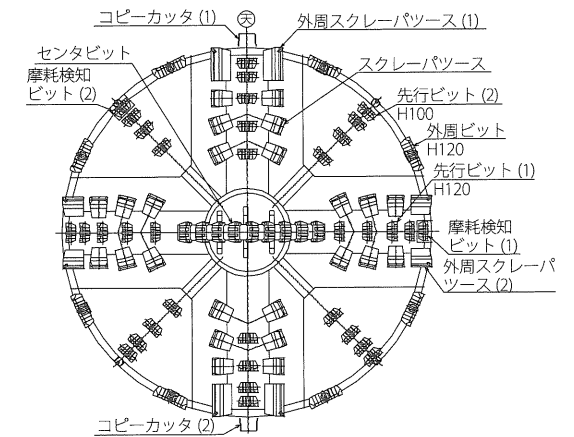


図-5 カッタヘッドの構造

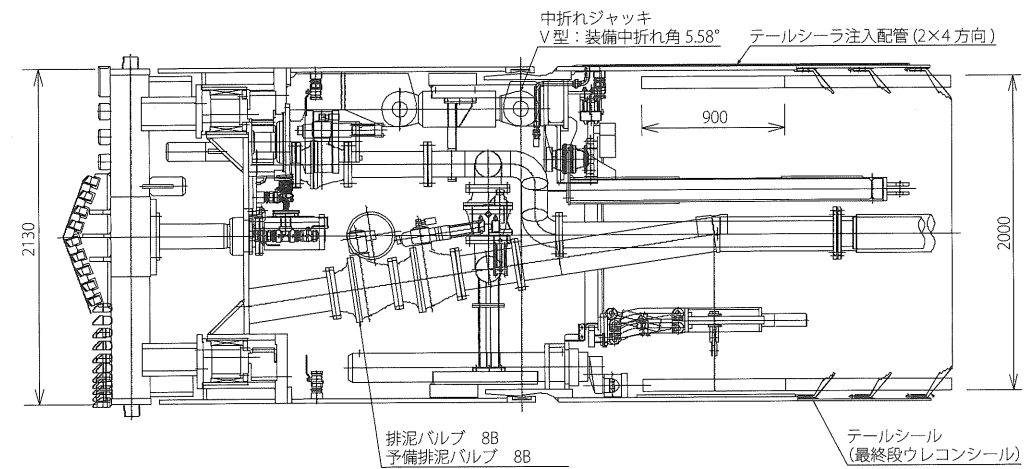


図-4 シールドの構造

表-1 シールド仕様

| 項目 | 仕様 |
|------------|------------------------|
| シールド外径 | 2,130mm |
| シールド機長 | 5,200mm |
| シールドジャッキ | 600kN×1,050st×35MPa×8本 |
| 中折れジャッキ | 1,000kN×110st×35MPa×4本 |
| 中折れ角度 | 5.58° |
| コピーカッタジャッキ | 105kN×75st×21MPa×2本 |

4 施工上の課題

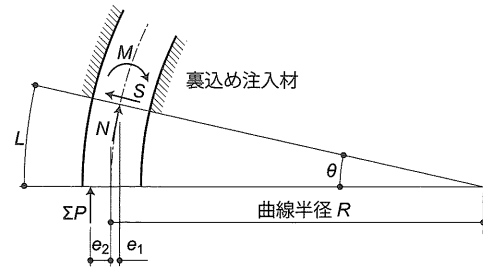
土質の変化が激しい地層において、長距離、小断面のシールドを安全に施工するための課題を以下に示す。

- ① 長距離施工に対する耐久性・施工性・安全性および止水性



写真-1 シールド全景

- ② 急曲線施工に対する安全性
- ③ 坑内軌道装置に対する安全性
- ④ 有害ガス・酸素欠乏空気に対する安全性



ここに、
 曲線半径： $R=40\text{m}$
 曲がり梁長： $L=2\text{m}$
 ジャッキ推力： $\Sigma P=600\text{kN} \times 4\text{本}=2,400\text{kN}$
 曲がり梁偏心量： $e_1=0.05\text{m}$
 ジャッキ合力の偏心量： $e_2=0.68\text{m}$

図-8 セグメント検討条件模式図

のみを使用した掘進を行う場合がある。その際、セグメントには、片押しジャッキ推力による偏心モーメント、軸力およびせん断力が作用する。その断面力に対して縦リブおよびボルトにどの程度の応力が発生するか算定した。

検討条件としては、セグメントの裏込めが硬化していない部分(仮に2mとした)を曲がり梁としてその軸芯のずれと、ジャッキ片押しによるジャッキ合力の重心位置のずれを考慮して偏心荷重を加えて断面力を算定した(図-8)。

この計算で、縦リブ外側に発生する圧縮応力度は許容応力度の68%、内側のリング間ボルトに発生する引張応力度は許容応力度の95%になった。

いずれも許容値を下回る結果になったが、今回は安全性を高めるため、急曲線部セグメントの内側のピース(A、BおよびKセグメント)のリング間ボルトを2倍の本数にした。

5-3 坑内軌道装置に対する対策

坑内軌道装置に対する対策を以下に示す。

- ① バッテリー機関車には、4つの制動設備(サーボ、油圧ディスク、電磁、トラックブレーキ)を装備したサーボ式バッテリー機関車を使用した(図-9)。また、台車の連結は、2重連結(連結棒と予備ワイヤー)として安全性を高めた。
- ② バッテリー機関車の見通しの悪い箇所での接触を防止するために、坑内の接触危険箇所

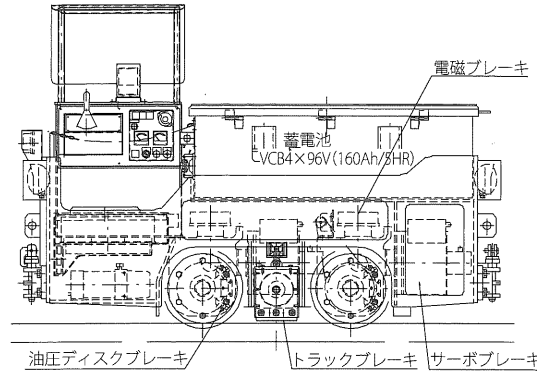


図-9 バッテリー機関車

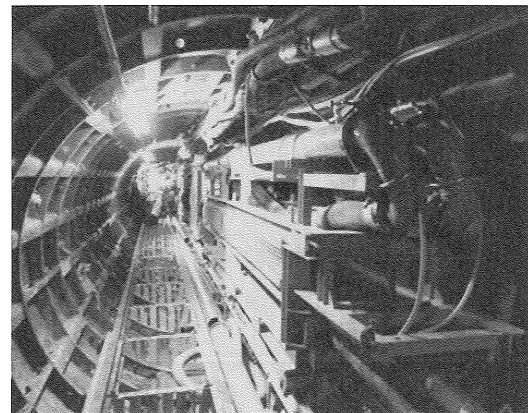


写真-3 初期掘進坑内状況

に「機関車の強制停止装置」を設置する。「機関車の強制停止装置」とは、接触危険箇所の軌条レール付近に設置した発磁体の磁気を機関車の磁気センサーが感知し、機関車動力の電気回路を遮断して自動停止するものである。これにより、危険箇所手前で必ず、いったん停止し、前方確認して通過することにより、長距離の坑内搬送の安全性が向上し、軌道上での機関車と作業員との接触事故が防止できる。

5-4 有害ガス・酸素欠乏空気に対する対策

有害ガス・酸素欠乏空気に対する対策を以下に示す。

- ① 小断面で長距離のシールド坑内では、有害ガス・酸素欠乏空気発生危険性の危険性が伴うため、適切な坑内環境測定が重要である。そのため、4種類(酸素・一酸化炭素・硫化水素・可燃性

ガス)のガスが検知できる定置式ガス検知自動警報装置を、シールド内、後続台車および坑内500mごと(7か所)に設置して自動計測し、中央監視室で常時監視するとともに管理値を超えた場合、警報を発し緊急事態を知らせる装置を設ける。

- ② 坑内の換気設備は、自然発生ガス・酸素欠乏空気などを十分に希釈するとともに、作業員が快適に作業できるよう温度湿度などを管理し、漏風の少ないノンリーク風管を使用する。

6 おわりに

この工事では、掘進延長が3,000m以上で厚生労働省に計画届を提出することが義務づけられていることから、2015(平成27)年10月13日にこれを提出し受理された。2016(平成28)年2月末に初期掘進が完了し、現在、本掘進を行っているところである。

シールド工事は、今後ますます長距離化が進んでいくと思われるが、当現場の計画が今後の同種工事に活用されれば幸いである。

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 285頁 本体価格4,660円 円340円



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している。また、これらのことを実務にすぐさま活用できるように、付録としてセグメントの設計、地盤変位予測解析、施工計画についての計画・設計例も紹介し、実務者をはじめトンネル技術者のニーズに応えた内容となっている。

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

株式会社 土木工学社

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

トンネルジャーナル

保水養生によるコンクリートの長寿命化を目指す

スリーエムジャパン(株)は去る5月23日に東京・品川の本社にて『「3Mコンクリート高品質化ソリューション」プレス説明会』を開催した。

会の冒頭、テープ接着剤製品事業部長の中村武彦氏より概要の説明があった。

続いて、日本大学工学部の岩城一郎教授よりコンクリートの初期保水養生の重要性の講演があった。東北地方などの寒冷地のコンクリート劣化状況が説明され、コンクリート強度の発現性に及ぼす養生の影響などについて解説があった。

その後にテープ接着剤製品技術部長の村松昭人氏より床版用の「3MTMコンクリート給水養生用水搬送シート1117」を中心にデモンストレーションを交えながら製品の説明があった。当該品は従来のマットに比べ、「カサ高が少ないこと」「施工性に優れていること」「水使用量が少ないこと」などの特徴が説明された。



また、同社では立面・天井面用の「3MTMコンクリート給水養生用水搬送シート2227HP」(写真)の強粘着タイプを2016年2月に販売開始しており、今後トンネル現場での採用働きかけを強化する。同製品は湿潤性の高いトンネル現場のような場所でも有効に使用できるように開発された商品である。

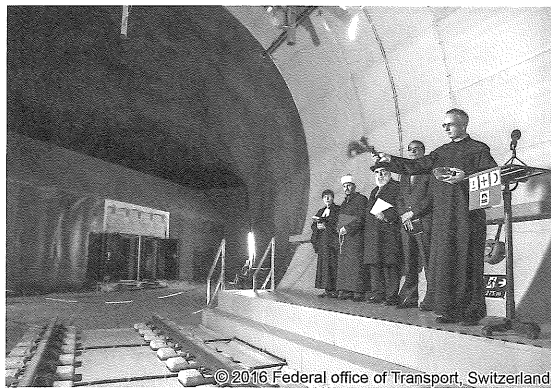
ゴットルトベーストンネルが開通

6月1日、公募に当選した1,000人に乗せて、一番列車がゴットルトベーストンネル(GBT)を通過し、世界最長の鉄道トンネルの開通式典が開始された。式典には独・仏・伊・墺などの各国首脳をはじめ約1,100人が招かれ開通を祝った。前日には工事で命を落とした9名に対する追悼のため、北側の坑口近くに設けられた慰霊碑の除幕式が開かれている。

翌2日には、プロジェクトの関係者らのための式典が催され、3日には最初の貨物列車が通過した。週末となった4、5日には両坑口で一般客を招いた開通式典が開かれた。GBTは半年間の試験運行のち12月11日には定期運行に入る予定。

同トンネルはスイス・チェネリ-エルストフェルト間を結ぶ延長約57kmの鉄道トンネル。トンネルの最高点は標高550mの位置にあり、縦断勾配が大きくないことから、旅客列車は在来線よりも高速運行が可能で、貨物列車では牽引する機関車を減らすことができる。GBTによりアルトドルフ-ベリンツォーナ間の走行距離も30km程度短縮される。

GBTの工事では、最盛期には約2,400人が3シフト、24時間体制で従事した。2本の本坑と避難坑、



換気坑、連絡坑を合わせて152kmのトンネルが掘削されており、調査期間を除くと、建設工事に17年が費やされた。掘削地山は、堅い花崗岩から脆い堆積岩まで幅広く分布し、TBMが本坑の約8割、発破掘削の山岳工法が約2割を掘削した。全体で2,820万tあまりの掘削土が排出されている。工期・工費削減のため、掘削は複数の工区で同時進行し、作業員、資材、機械類は山中にある工事ヤードから作業坑を通じて運搬された。土かぶり2,300mあることからGBTは世界最深のトンネルでもある。

研究

覆工材料の違いによる変形破壊挙動に関する実験的研究

(公財)鉄道総合技術研究所構造物技術研究部主任研究員 野城 栄

1 はじめに

山岳トンネルは、地質などの条件によっては地圧の作用や地震による影響を受けることがある。これまでの研究^{1)~4)}により山岳トンネルの覆工は大きな変形に耐えられることが知られている。一方で、実務においてはアーチ構造を有する山岳トンネルの特性がまだ十分に考慮できておらず、例えば、設計の実務においては引張りひ割れの発生や鉄筋降伏の発生などを指標として、維持管理の実務においてはひび割れ幅や内空変位速度などを代替的な指標として⁵⁾、安全性が評価されているのが実情である。

上記の問題は山岳トンネル覆工の限界状態が明確に定義されていないことにも起因すると考えられる。ここで、限界状態の定義が困難である理由として、山岳トンネルは地山に囲まれたアーチ構造物であり、軸力と曲げが変形に応じてそれぞれ増加するため、変形破壊挙動が複雑であること、覆工の仕上がりが施工に依存しがちであり、巻厚不足や背面空洞なども多くのトンネルで存在していることなどが考えられる。

そのほかに、覆工の限界状態を考える際の難しさとして、覆工材料の多様性がある。図-1に山岳トンネルの覆工材料の変遷⁶⁾を施工法と併せて示す。

明治時代は、覆工にはおもに、れんがが用いられていた。なお、石材が豊富に産出する地域では、側壁部に石材が使われた。大正時代より場所打ち

| 大分類 | 明治 | 大正 | 昭和 | | | | | | 平成 | | |
|-----|--------------|----|----|----|----|----|----|----|----|---|--------------|
| | 15 25 35 | 5 | 1 | 10 | 20 | 30 | 40 | 50 | 60 | 1 | 10 |
| 掘削 | 矢板工法 | | | | | | | | | | NATM |
| 支保 | 古典的掘削法 (日本式) | | | | | | | | | | 底設導坑 先進 |
| | 新オーストリア式) | | | | | | | | | | 上半先進 |
| 材料 | れんが・石材 | | | | | | | | | | 鋼製 |
| | コンクリートブロック | | | | | | | | | | 吹付けコンクリート+RB |
| 打設 | 場所打ちコンクリート | | | | | | | | | | ポンプ吹上げ |
| | 人力 | | | | | | | | | | エア引抜き |
| 型枠 | 木製 | | | | | | | | | | 鋼製 |

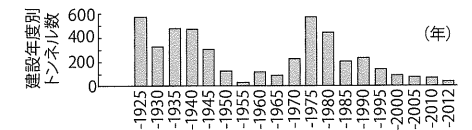


図-1 トンネルの覆工材料の変遷と建設年度別箇所数^{6),7)}

コンクリートが徐々に用いられるようになるが、当時の場所打ちコンクリートは人力作業による練混ぜ、打設が中心であり、とくにアーチ部にコンクリートを均等に打設することが困難で、確実に巻厚を確保できるコンクリートブロックが一時的に用いられた。場所打ちコンクリートが一般的に用いられるようになったのは昭和に入ってからである。

図-1には併せて建設年度別トンネル箇所数⁷⁾を示す。鉄道トンネルは歴史が古く、戦前のトンネルも多い。図より、鉄道トンネル覆工の材料は、れんが、コンクリートブロック、場所打ちコンクリートとさまざまな素材の材料が用いられていることがわかる。

そのほか、覆工は地質条件、地形条件に応じて

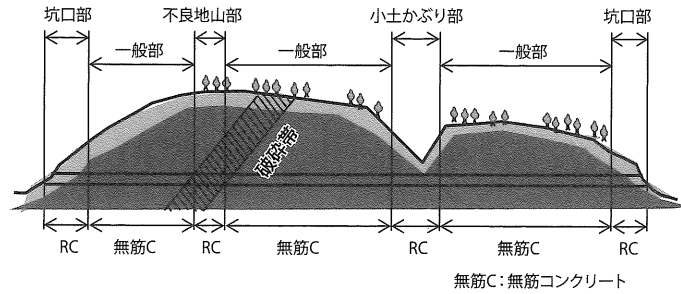


図-2 山岳トンネルにおける無筋C/RC使い分けの例

補強がなされる場合がある。図-2に山岳トンネルにおける無筋コンクリート/RCの使い分けの例を示す。山岳トンネルは地山に囲まれたアーチ構造であるため、安定した地山に建設される場合は、通常は無筋コンクリートとなるが、図-2のように、坑口部、小土かぶり部、不良地山部では、将来的な荷重の作用の可能性を考慮してRC構造とする場合がある。また、最近では、繊維補強コンクリートを採用する例もある。

このように、山岳トンネルは、山岳トンネル覆工に用いられる材料が、れんが、コンクリートブロック、無筋コンクリート、鉄筋コンクリートなど多岐にわたっており、変形破壊挙動を理解するにあたっては、いろいろな覆工材料に着目する必要がある。

2 変形破壊挙動や耐荷性能に関する研究事例

実際のトンネルの覆工に近い材料を用い、かつ実際のトンネルに近い形状・寸法の模型を用いて山岳トンネル覆工の変形破壊挙動や耐荷性能を調べた研究としては文献2)~4)が挙げられる。

文献2)では、矩形偏荷重条件下では、RCとすることによりひび割れの発生が抑制されるとともに構造が変化して耐荷性能が増加すること、ブロック覆工とすることにより無秩序なひび割れの発生が防止され、耐荷性能が増加することが述べられている。

文献3)では、れんがが積み覆工は、層間ひび割れが発生すること、無筋コンクリート覆工よりも耐荷性能が小さくなることなどが示されている。

文献4)では、アーチ構造を有する山岳トンネルの覆工について、断面力の発生形態(軸力卓越か、曲げ卓越か、あるいは両方バランスしているか)の違いにより、破壊形態も変わること、すなわち、軸力卓越であればせん断破壊が、曲げ卓越であれば曲げ破壊が、両方バランスするような断面力の発生形態であれば曲げ圧縮破壊による圧縮が発生することが示されている。また、覆工の材料については、RC(単鉄筋)、鋼繊維補強コンクリートであれば、曲げ卓越となるときに補強効果が確認されること、れんがが積み覆工は層間ひび割れが生じ得ること、鋼繊維補強コンクリートには、圧縮時に剝離抑制効果が見られることなどが示されている。

一方で、山岳トンネルの覆工の材料として一般に用いられている、複鉄筋RC覆工、非鋼繊維による補強コンクリートを用いた覆工についてはトンネルを模擬した模型実験による検討は実施されておらず、山岳トンネル覆工の限界状態の検討にはまだ十分でない点もあるものと考えられる。

本研究では、このような背景を踏まえ、山岳トンネル覆工の限界状態を明らかにし、安全性の評価の一助とすることを目的として、無筋コンクリート、れんが、短繊維補強コンクリート、RCなど、さまざまな材料を用いた覆工について、変形破壊挙動に着目して1/5スケール模型実験を行った。

以下、実験結果⁸⁾について示すことにする。

3 模型実験

3-1 模型実験装置

実験では大型トンネル覆工模型実験装置⁹⁾(図-3)を用いた。実験装置の縮尺は実物(新幹線複線標準断面)の1/5相当である。実験装置は、載荷用油圧ジャッキ、反力用油圧シリンダ、反力フレームなどで構成され、覆工模型の周囲に皿ばねが配置されており、覆工と地盤との相互作用を模擬することができる。

覆工模型実験装置の諸元を表-1に示す。

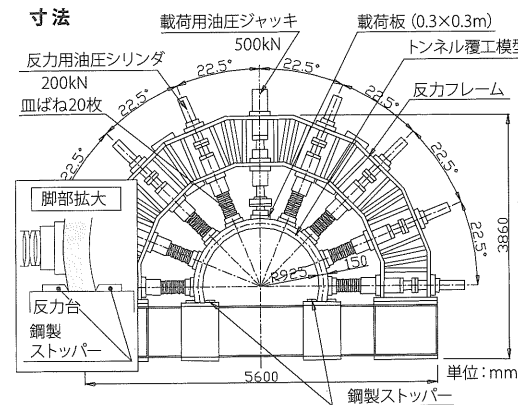
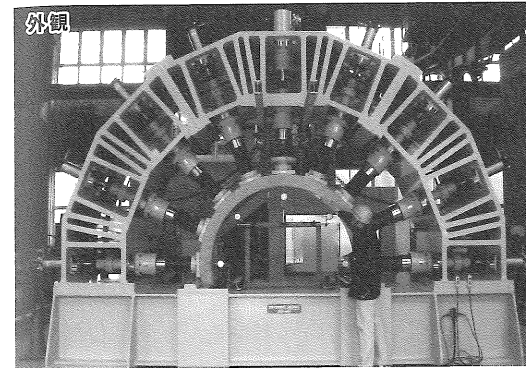


図-3 覆工模型実験装置⁹⁾

表-1 覆工模型実験装置の諸元

| 構成部材 | 項目 | 諸元 |
|-----------|--------|-----------------------------|
| 載荷用油圧ジャッキ | 最大載荷重 | 500kN |
| | 最大載荷圧 | 5.6MPa |
| | ストローク | 250mm |
| 反力用油圧シリンダ | 寸法 | 内径φ125mm |
| | ストローク | 200mm |
| 皿ばね | 寸法 | 外径φ200mm, 内径φ102mm, 厚さ12mm |
| | ばね係数 | 3,000kN/m |
| | 地盤反力係数 | 16MN/m ³ (洪積層相当) |

本実験装置は、縮尺を1/5とすることにより実験装置を比較的規模の小さいものに抑えて実験の負担を減らしつつ、材料については実際のトンネルで使われているものと同じものが使えるようにし、実物に近い変状が模型に生じるように工夫がしてある。なお、本研究では、軟岩地山相当の地盤ばねを模擬した皿ばねを用いた。模型実験においては、与える荷重が同じ場合、皿ばねを硬くし

表-2 実験ケースと呼称

| No. | 呼称 | 基本材料 | 仕様 |
|-----|-----|--------|---|
| 1 | 無筋 | コンクリート | 無筋 |
| 2 | れんが | れんが | れんが ² 層 ¹⁰⁾ |
| 3 | PPF | コンクリート | (左)ポリプロピレン繊維0.05vol%補強 (右)ポリプロピレン繊維0.1vol%補強 |
| 4 | SF | コンクリート | 鋼繊維0.5vol% |
| 5 | RC | モルタル | 鉄筋補強 |

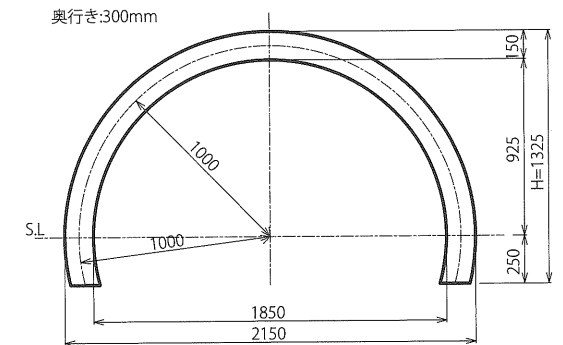


図-4 トンネル覆工模型の寸法

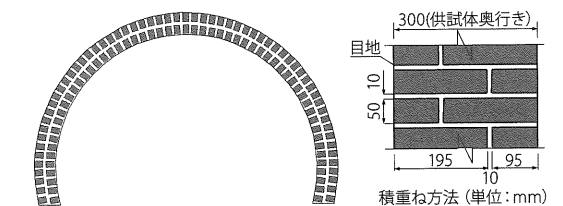


図-5 れんがの組積図(ケース2)

て地盤反力係数を大きくすると、変形は小さく、軸力は大きく、曲げモーメントは小さく、地盤ばね反力は大きくなる。実際のトンネルでも同様の傾向となると考えられるが、実際のトンネルは地山の固さが多様であり、上記傾向を考慮して実際のトンネルでの挙動を推測することが必要となる。

3-2 実験ケース

実験ケースは、覆工の材料を変化させて表-2に示す5ケースとした。模型の寸法を図-4に示す。巻厚は矢板工法による新幹線トンネル(巻厚70cm)を想定して150mmを標準とし、奥行きは300mmとした。

ケース2は文献10)で実施されたれんが覆工の

実験である。れんがについては、明治年間に建設されたトンネルに用いられているれんがに近い物性を有する市販のオーストラリアれんがとし、幅70mm×高さ50mm×長さ195mm、およびその半割(長辺を長さ95mmに切断したもの)を用いた。これを、図-5に示すように奥行き方向に千鳥組みとし、モルタルによる目地(厚さ10mm)を用いて半径方向に2層積層することにより作成した。

ケース3, 4は短繊維補強コンクリートに着目したものである。ケース3はポリプロピレン短繊維(PPF)とし、RC構造物のかぶりコンクリートの剝落防止目的で用いられている仕様¹¹⁾に準拠してPPFをコンクリートに混合し、山岳トンネルの覆工に用いたときに剝落防止効果を有するかどうかに着目した。なお、実際に鉄道トンネル覆工で採用された事例¹²⁾もある。

ここで、ケース3ではPPFは混入量が少なく耐荷性能に与える影響はほとんどないと考えられたため、繊維混入量による剝離抑制効果の差に着目

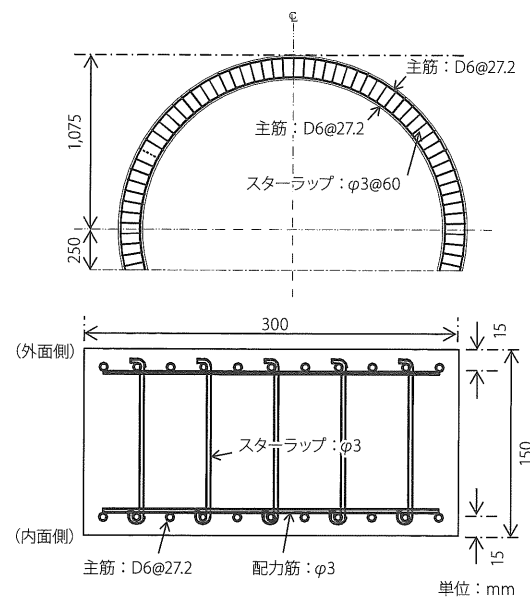


図-6 配筋図(ケース5)

し、供試体の左右で繊維の混入率を変えて実施した。

ケース4は鋼繊維(SF)を用い、曲げじん性の向上効果が期待できる混入率0.5vol%として、繊維の種類や混入量の影響について比較した。

ケース5はRC覆工を模擬したものである。ただし、コンクリートは複鉄筋とスターラップを配筋したアーチ状の型枠に密実に打設することが困難であったため、今回はモルタルを使用した。ここで、矢板工法時代のトンネルにおいては覆工をRC構造とする際の設計基準が定められていなかったことから、実際に供用されている鉄道トンネルにおける配筋例(D22@150mm程度)を参考に複鉄筋として図-6のように配筋した。せん断補強筋については、RC構造物の基準¹³⁾を参考に丸鋼であることを考慮して鉄筋比0.22%として配筋した。

材料の諸元を表-3,4に示す。

実験は、天端部の載荷用油圧ジャッキを鉛直下向きに変位制御により50mmまで(ただし、ケース2は40mmまで)載荷することにより行った。

表-3 材料の諸元

| 項目 | 強度・仕様 |
|-----------|---|
| コンクリート | 粗骨材寸法: 20mm 強度: 24N/mm ² (28日強度) |
| モルタル | 1:5モルタル 強度: 22N/mm ² (28日強度) |
| れんが | オーストラリアれんが 目地: 1:3モルタル |
| 鋼繊維 | 鋼繊維(φ0.7mm×43mm) 混入率: 0.5vol% |
| ポリプロピレン繊維 | ポリプロピレン繊維(φ64.8μm×12mm) 混入率: 0.05vol%および0.1vol% |
| 鉄筋 | 複鉄筋 鉄筋種: SD345 主筋: D6@27.2mm(鉄筋比1.55%) スターラップ: φ3×5本@60mm(鉄筋比0.22%) |

表-4 コンクリート・モルタルの配合

| 材料 | セメント(kg/m ³) | 細骨材(kg/m ³) | 粗骨材(kg/m ³) | 水(kg/m ³) | 混和剤(kg/m ³) | 設計強度(N/mm ²) |
|--------|--------------------------|-------------------------|-------------------------|-----------------------|-------------------------|--------------------------|
| コンクリート | 288 | 961 | 867 | 170 | 2.88 | 21 |
| モルタル | 303 | 1,609 | - | 240 | 1.51 | 18 |

図-7に計測項目を示す。載荷中は、載荷荷重、載荷点変位、覆工内面の法線方向変位(9か所)を計測した。

また、ケース5(RC)においては、上記法線方向変位計測を行った角度において、鉄筋のひずみを計測した。

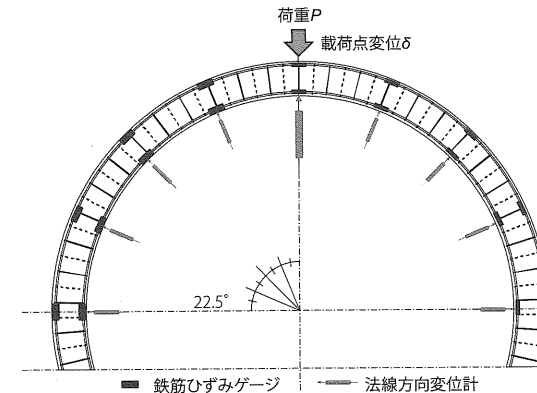


図-7 計測項目

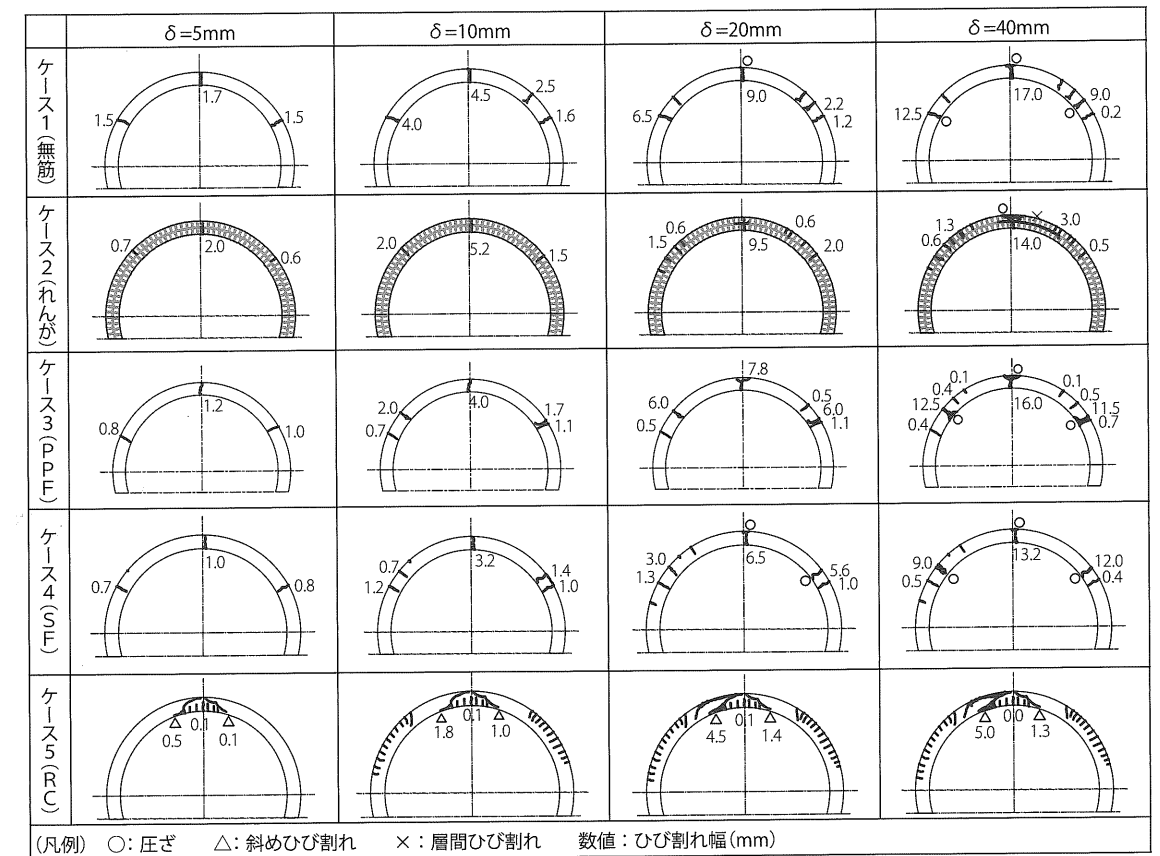
3-3 実験結果

実験結果の再現性については、無筋については、文献9),14)の実験と、今回のケース1を比較することにより再現性を確認することができる。同じ条件であれば、荷重-変位曲線は、再現性を有している。ただし、変状(ひび割れ、圧ざ)発生位置については初期状態の小さな差が大きな影響を及ぼし、実験ごとに変化した。無筋以外の材料については実験ケース数が少なく、再現性は十分に確認できていない。この点には留意する必要がある。

3-3-1 破壊形態

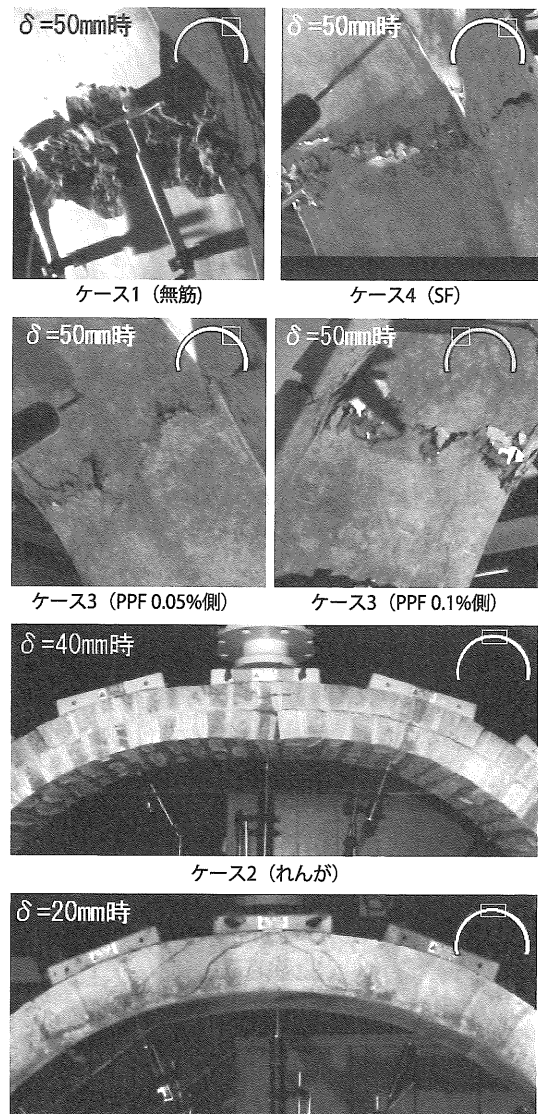
図-8に載荷板変位δが5, 10, 20, 40mm時における各ケースのひび割れ進展状況を示す。

破壊形態は大きく分けて3種類に分類でき、曲げ引張ひび割れがいくつか発生したのち、ケース1(無筋)、ケース3(PPF)、ケース4(SF)では曲げ圧縮破壊(圧ざ)、ケース2(れんが)では層間ひび



(凡例) O: 圧ざ Δ: 斜めひび割れ X: 層間ひび割れ 数値: ひび割れ幅(mm)

図-8 ひび割れ進展状況



ケース1 (無筋) ケース4 (SF) ケース3 (PPF 0.05%側) ケース3 (PPF 0.1%側) ケース2 (れんが) ケース5 (RC) 図-9 破壊状況

割れ、ケース5(RC)では斜めひび割れが発生した。ケース1,3,4の破壊形態は、文献4)に示された、破壊形態Aに近いものとなっており、本実験は、曲げと軸力とが両方バランスするような断面力の発生形態となっていると考えられる。

コンクリートを用いたケース1(無筋)、ケース3(PPF)、ケース4(SF)においては、まず $\delta=2\text{mm}$ 程度で、曲げ引張ひび割れが天端内側と左右肩部外側に発生して、3ヒンジアーチ状態となったあと、 $\delta=20\text{mm}$ 前後で左右肩部内側で圧ぎが発生す

る破壊形態となった。繊維の有無や種類の違いに着目すると、ひび割れ進展状況は同様であったが、 $\delta=50\text{mm}$ 時における圧ぎ発生箇所の破壊状況(図-9)を比較すると、ケース1(無筋)では掌大の塊状の剥落が発生したのに対し、ケース3(PPF)、ケース4(SF)では最大でも粗骨材(20mm程度)の剥落で収まった。繊維量や種類による大きな差はなく、PPF 0.05vol%と少量の繊維混入量とした場合にも剥落防止効果が得られた。これは、閉合するようなひび割れが入った場合でも、モルタル分を介して繊維がコンクリート小片の落下を抑制したことによると考えられる。

ケース2(れんが)では、同様に $\delta=2\text{mm}$ 程度で曲げ引張ひび割れが天端内側と左右肩部外側に発生して3ヒンジアーチ状態となったあと、 $\delta=20\text{mm}$ 程度で天端において、れんがが1層目と2層目の間の目地に層間ひび割れが発生する破壊形態となった。載荷が進んでも肩部内側の圧ぎは発生せず、その代わりに $\delta=32\text{mm}$ 程度から天端部の層間ひび割れが急に拡大して肩部両側に広がった(図-9)。この層間ひび割れは文献3)でも確認されたものである。

ケース1(無筋)、ケース2(れんが)により材料の違いに着目すると、どちらも3ヒンジアーチ状態となったが、ケース2は目地を有することで覆工全体が均一な構造となっていないことから、変形に伴うれんが1層目と2層目の曲率の差によって、層間目地部にせん断力が作用して目地切れが発生したものと考えられる。

ケース5(RC)では、 $\delta=3\text{mm}$ 程度で、天端部内側に複数の引張ひび割れ、斜めひび割れが発生した。その後、アーチ肩部からスプリングラインにかけての外側に、引張ひび割れが複数発生し、斜めひび割れは幅が徐々に広がった。 $\delta=25\text{mm}$ 程度より、斜めひび割れは急激に幅が広がった。しかし、天端内側、アーチ肩部からスプリングラインにかけての外側の引張ひび割れはほとんど発達せず、せん断ひび割れの様相を呈した(図-9)。

ケース1(無筋)と比較して天端部や肩部に発生する曲げ引張ひび割れの幅や長さは小さくなり、

肩部内側の圧ぎも発生しなかった。これは、主鉄筋を配置したことで、曲げに対する抵抗力が向上したことによるものと考えられる。曲げが補強された結果、覆工に導入される軸力が大きくなり、結果的に、軸力で破壊するモードとなったと考えられる。

3-3-2 荷重-変位曲線

図-10に各ケースの荷重Pと載荷板変位 δ の関係(以下「荷重-変位曲線」)を示す。

主たる材料にコンクリートを用いたケース1(無筋)、3(PPF)、4(SF)では、 $\delta=2\text{mm}$ 程度で引張ひび割れが発生して3ヒンジアーチ状態となった際に荷重がいったん低下した。繊維による違いについては、繊維の種類や混入量による差はあまり見られないが、ケース4(SF)は、3ヒンジアーチとなった以降の荷重の低下がケース1,3よりも小さく、 $\delta=20\text{mm}$ 以下の荷重はケース1,3より大きい。

これは繊維材料、繊維量、繊維の幾何学的形状、繊維の長さの違いが寄与し、総合的に、曲げひび割れ発生後の曲げ剛性の低下が抑えられたためと考えられる。ただし、ある程度変形が進んだ $\delta=20\text{mm}$ 程度以降は、荷重は、ほぼ同じになった。なお、天端において圧ぎが発生したのを境にトンネルとしての剛性が若干低下している。

ケース2(れんが)は他のケースと比較して荷重が小さくなった。これは、目地による多数の不連

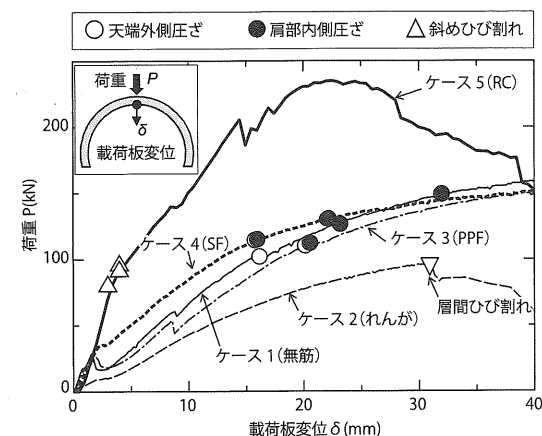


図-10 荷重-変位曲線

続面を有することや、れんが単体での弾性係数がコンクリートと比較して小さいことから、トンネル全体としての剛性が小さくなったためと考えられる。

ケース5(RC)はトンネルとしての剛性、最大荷重がもっとも大きくなっている。ケース1,3,4で見られた $\delta=2\text{mm}$ 付近での引張ひび割れの発生による、それ以降の剛性の大きな低下は見られず、 $\delta=3\text{mm}$ 付近、 $\delta=14\text{mm}$ 付近で剛性が低下し、 $\delta=22\text{mm}$ 付近で荷重がピークとなったのち、 $\delta=27\text{mm}$ 付近より急激に荷重が低下した。ここで、ケース5では、脚部に作用する荷重が増加したため、供試体の鋼製ストッパーが破壊され、 $\delta=20\text{mm}$ に至るまでに脚部が左右それぞれ10mm程度外側に移動した。なお、 $\delta=20\text{mm}$ 以降は、移動は見られなかった。

図-11にケース1,2,5について、 $\delta=10\text{mm}$ 時の変形の状況を示す。なお、ケース3,4については、ケース1とおおむね同様の分布となったため記載を省略した。図より、全体的に、載荷点直下はトンネルの内空側に変位し、一方で、左右肩部は、ばね側に変位していることがわかる。

ここで、変位が+となっている範囲では、ばねが作用し、覆工に反力が与えられることとなる。左右肩部のばね側への変位の大きさはケース1(無筋)>ケース2(れんが)>ケース5(RC)の順となっている。また、図-10より、 $\delta=10\text{mm}$ 時は、載荷重がケース5(RC)>ケース1(無筋)>ケース2(れんが)となっている。これらより、トンネルの変形メカニズムは以下のように考察できる。ケー

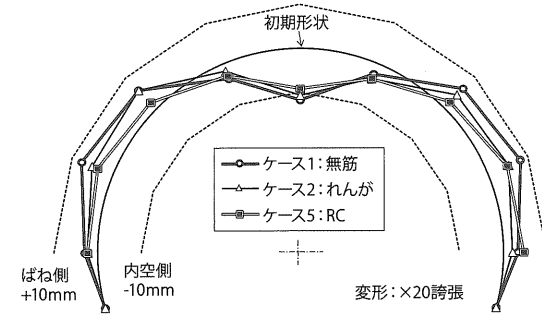


図-11 トンネルの変形($\delta=10\text{mm}$ 時)

ス1(無筋)は、3ヒンジアーチとなっており、ヒンジ部での曲げ剛性が大きく低下したが、肩部がちょうどこのヒンジ部にあたるため、肩部でのばね側への変位がもっとも大きくなったものと考えられる。ケース2(れんが)は、ケース1(無筋)同様、3ヒンジアーチとなったものの、無筋と異なりもともと目地を有する構造で曲げ剛性が始めから小さいこともあり、ヒンジになることによる曲げ剛性の低下は相対的に小さい。一方で、曲げ剛性が小さく荷重変位を荷重箇所周囲だけで吸収してしまっている。

以上のことから、肩部はちょうどヒンジ部に当たってはいるものの、肩部でのばね側への変位は無筋より小さくなったものと考えられる。ケース5(RC)は、ばねからの反力が小さいわりには、荷重重が大きく、補強鉄筋により曲げ剛性が向上したためと考えられる。

3-3-3 圧さ箇所のコンクリートひずみ

筆者らは、覆工の材料に対し、圧縮側にも軟化特性を考慮して数値解析を行い、発生するひずみにて圧さの発生を判定することによりトンネルの限界状態を表現する手法^{8),14)}の検討を行っている。この手法では、無筋コンクリートに対し相当塑性

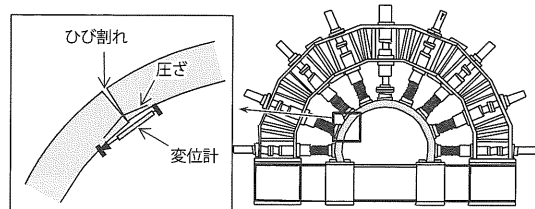


図-12 ひずみの計測方法

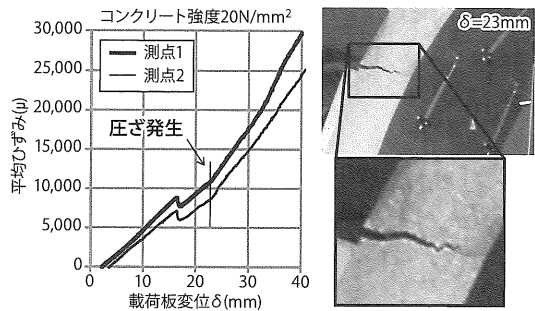


図-13 ひずみの計測結果(ケース1の例)

ひずみ10,000μをもって圧さの判定をしている。

この値の妥当性を評価するため、ケース1(無筋)において、図-12に示すような方法で、アーチ肩部の引張ひび割れ発生箇所の圧縮(内面)側に変位計(測点間隔120mm程度)を取付け、その変化により、ひずみの直接的な計測を行った。

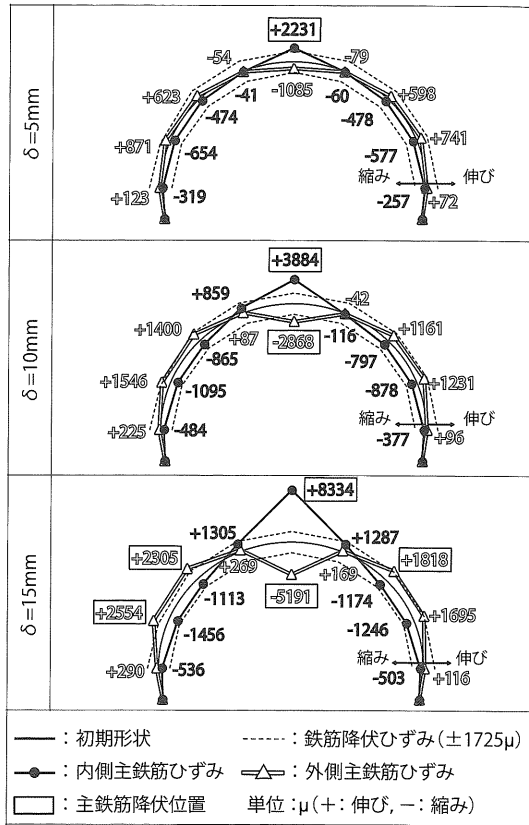


図-14 鉄筋のひずみ分布(ケース5:RC)

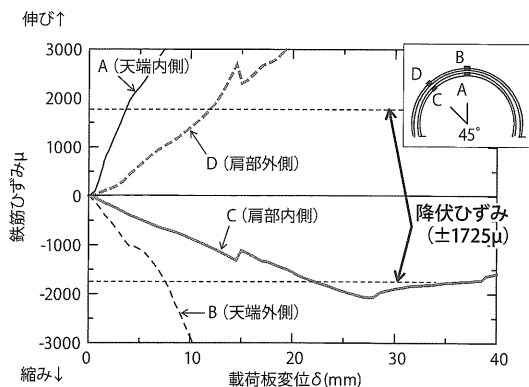


図-15 変位-鉄筋ひずみ関係(ケース5:RC)

計測結果の例を図-13に示す。あわせて、図中に圧さ現象が生じたタイミングを示す。図-13から、圧さ箇所では、平均ひずみで10,000μ程度のひずみが発生していることが確認された。

3-3-4 鉄筋のひずみ

ケース5(RC)について、図-14に $\delta=5, 10, 15$ mm時における主鉄筋のひずみ分布を、図-15に変位-鉄筋ひずみ関係を示す。

図-14より天端、両肩部で鉄筋のひずみが大きい傾向であり、図-15より、 $\delta=3$ mmで位置A(天端内側鉄筋)に引張降伏が、 $\delta=8$ mmで位置B(天端外側鉄筋)に圧縮降伏が、 $\delta=12$ mmで位置D(肩部外側鉄筋)に引張降伏が、 $\delta=22$ mmで位置C(肩部内側鉄筋)に圧縮降伏が発生した。

図-10によると $\delta=3$ mm, 14mm付近でトンネルの構造物としての剛性の低下が起きているが、 $\delta=3$ mmは位置A(天端内側鉄筋)の降伏に、 $\delta=14$ mmは位置D(肩部外側鉄筋)の降伏に起因したものと考えられる。さらに、 $\delta=22$ mmで荷重の増加が止まっているが、これは位置C(肩部内側鉄筋)の降伏により3ヒンジアーチとなったことに起因したものと考えられる。

3-4 耐荷性能および変形性能

ここでは、各ケースについて耐荷性能と変形性能について整理する。

図-16に各ケースの最大荷重 P_{max} (耐荷性能)と破壊時の荷重板変位 δ_d (変形性能)をまとめる。ここで、ケース1, 3, 4は、図-10で見られるように、 $\delta=40$ mm(実物200mm相当)という実際の変状ではほとんど生じない大きな変形を与えても荷重の低

下には至らず、構造的な破壊を定義することができなかった。よって、安全性の観点から、覆工内面に圧さによる剥離(粗骨材サイズを超えるもの)が発生した時点をもって破壊相当と定義した。

ケース2(れんが)は層間にひび割れが発生した時点をもって破壊相当と定義した。ケース5(RC)は、せん断ひび割れが生じて荷重が急激に低下した時点をもって破壊と定義した。

図-16より以下のことがわかる。ケース2(れんが)は、ケース1(無筋)と比較して P_{max} が小さく耐荷性能は劣るが、 δ_d が大きく変形性能は優れている。ケース3(PPF)、ケース4(SF)は、 P_{max} (耐荷性能)はケース1(無筋)と同程度であり、さらに、図-9に示したように大きな剥落が生じないことから、変形性能も優れていると判断される。ケース5(RC)は、 P_{max} が大きく耐荷性能は高いが、今回の実験の範囲においては、せん断破壊に伴う荷重の低下が比較的早い段階で発生したことにより、ケース1(無筋)と δ_d は変わらなかった。また、脚部の移動がもし生じなかった場合は、 δ_d はさらに小さくなる可能性がある。

以上から、RCとしたとしても変形性能が大きく改善されたとはいえなかった。これは、押抜きせん断に近い破壊モードとなったことによる面もあるが、アーチ状の構造物である山岳トンネルの覆工においては、ある程度の引張ひび割れは生じて問題とはならないため、RC構造とすることによるじん性の向上効果が顕在化しなかったことによる面もあると考えられる。

4 材料による破壊挙動と耐荷性能の違いの考察

本章では、これまで示した模型実験の結果を要約するとともに、山岳トンネルの覆工として適用されたことを想定して、変形性能、耐荷性能の違いについて考察することにする。なお、実際の山岳トンネルは、地山条件が多様であるほか、断面形状や構造が多岐にわたり、また、巻厚不足や背面空洞などの欠陥も多く存在している。以下の考察は、トンネルが下記の条件にある

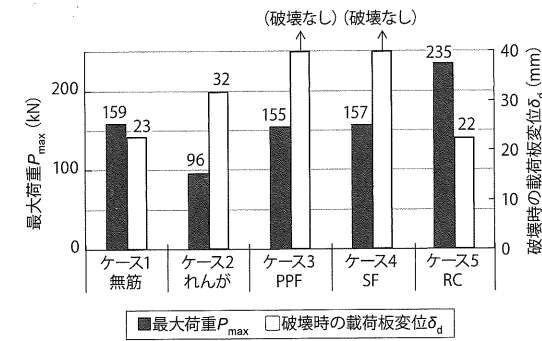


図-16 耐荷性能および変形性能

場合の傾向として、結果を解釈する必要がある。

- ・ばね設定は、土砂地山ないし強度の小さな軟岩を想定しており、覆工は、曲げと軸力とが両方バランスするような断面力の発生形態にある。
- ・覆工には、背面空洞や巻厚不足などの欠陥がない。

4-1 無筋コンクリート覆工

変形に伴いひび割れが発生し剛性が低下したが、比較的大きな変位まで荷重の低下がなく、アーチ構造の優位性が改めて確認された。ただし、最大荷重が発生するよりも前の段階で覆工内側に圧ぎが生じた。

山岳トンネルの覆工としては、一般的な地山(荷重の作用を想定する必要がなく、多少の余力を備えておけばよい条件下)であれば、適度な耐荷性能、変形性能を有する無筋コンクリートが適切と考えられる。ただし、変形に伴い圧ぎが生じうるので、ひび割れがあり、変形しているトンネルでは、定期的な監視・計測を行い、変形量に応じて圧ぎ(剥落)が生じないように剥落対策などを行う必要がある。

4-2 れんが覆工

コンクリート覆工と比較して剛性や耐荷性能が小さく、変形が大きくなると、層間ひび割れが生じることがわかった。曲げ剛性が小さいことに起因して、載荷箇所周囲の狭い範囲で変形が生じた。

山岳トンネルの覆工としては、多ヒンジ構造であるため、曲げ剛性が無筋に比べて小さく、耐荷性能が小さく、変形しやすい。また、積層構造であるため、変形しているトンネルでは層間での分離にも留意する必要がある。

4-3 短繊維補強コンクリート覆工

一般的に用いられるような繊維、混入率においては、剛性や耐荷性能は無筋コンクリート覆工とほぼ同じであることがわかった。ただし、鋼繊維のケースは、無筋コンクリートと比べて、3ヒンジアーチとなった際も、変形が小さいときは荷重の低下が小さくなった。また、曲げ圧縮破壊により圧ぎを生じたとしても、覆工片が剥離しにくい、

あるいは、剥離したとしても粗骨材程度で収まることがわかった。また、この効果は、繊維混入率をかなり小さくしても見られた。

山岳トンネルの覆工としては、大変形時の耐荷性能は無筋と変わらないが、剥落防止の効果があり、変形性能が高いことから、地質不良箇所などで地震などにより将来的に変形が生じる懸念のある箇所、剥落対策として用いることが考えられる。また、変位が小さいときに限るが、繊維の種類や混入率によっては、曲げ引張作用時のひび割れの開口や変形の抑制に効果を発揮できる可能性がある。

4-4 RC覆工

鉄筋の効果により、剛性や耐荷性能は無筋に比べて大きく改善されることがわかった。また、アーチ効果により、鉄筋が降伏したあとも荷重が増加することが確認された。一方で、曲げ補強により曲げ耐力が大きくなった結果、せん断破壊のモードとなり得ることがわかった。

山岳トンネルの覆工としては、剛性、耐荷性能がもっとも高く、坑口部や小土かぶり部など荷重が想定でき耐荷性能が求められる際に優位性がある。ただし、併せて、せん断補強も十分検討が必要である。

5 ま と め

山岳トンネル覆工の限界状態を明らかにし、安全性の評価の一助とすることを目的として、種々の材料からなる山岳トンネルの覆工について、変形破壊挙動に着目して1/5スケール模型実験を行った。また、山岳トンネルの覆工として適用されたことを想定して、変形性能、耐荷性能の違いについて考察した。

以下に得られた結論を示す。

- ① 無筋コンクリート覆工は、変形に伴いひび割れが発生し剛性が低下したが、比較的大きな変位まで荷重の低下はなかった。最大荷重が発生するよりも前の段階で覆工内側に圧ぎが生じた。山岳トンネルの覆工としてみた場合、適度な耐荷性能・変形性能を有している

が、変形時の剥落の可能性に留意が必要である。

- ② れんが覆工は、無筋コンクリート覆工と比べて剛性や耐荷性能が小さく、変形が大きくなると層間ひび割れが発生した。山岳トンネルの覆工としてみた場合、耐荷性能がコンクリートより小さく、変形しやすい。また、積層構造であるため、変形しているトンネルでは層間での分離に留意が必要である。
- ③ 短繊維補強コンクリート覆工は、剛性や最大荷重は無筋コンクリート覆工とほぼ同じであった。また、圧ぎが生じた箇所、剥落は生じなかった。山岳トンネルの覆工としてみた場合、剥落防止の効果があり、変形性能が高いことから、将来的に変形が生じる懸念のある箇所、剥落対策として用いることが考えられる。また、変位が小さいときは、曲げ引張作用時のひび割れの開口や変形の抑制に効果を発揮できる可能性がある。
- ④ RC覆工は、剛性や耐荷性能は無筋に比べて大きくなった。また、鉄筋が降伏したあとも荷重を保持できた。一方で、曲げ補強により、せん断破壊のモードとなった。山岳トンネルの覆工としてみた場合、剛性、耐荷性能がもっとも高く、坑口部や小土かぶり部など荷重が想定でき耐荷性能が求められる際に優位性がある。ただし、せん断補強には十分な留意が必要である。

本研究により、山岳トンネルの限界状態や耐荷性能、変形性能が明らかになったが、まだ限られた条件下での検討の結果である。実際の山岳トンネルは、地質や構造の条件がさまざまであるほか、断面形状や構造が多岐にわたり、また、巻厚不足や背面空洞などの欠陥も多くのトンネルで存在している。条件によっては上記考察が適用できない場合もあり得ることには留意が必要である。今後、さまざまな条件下での覆工の変形破壊挙動についても検討することが必要と考えられる。

最後に、本研究の遂行にあたって実験を担当していただいた(株)ジェイアール総研エンジニアリ

ング 川上義輝氏に深甚なる謝意を示すものである。

参 考 文 献

- 1) 朝倉俊弘・小島芳之・安東豊弘・佐藤豊・松浦章夫：トンネル覆工の力学挙動に関する基礎的研究，土木学会論文集，No.493/III-27，pp.79-88，1994。
- 2) 今田徹：コンクリート覆工の強度，トンネルと地下，Vol.8，No.9，pp.7-16，1977。
- 3) 岡野法之・仲山貴司・津野究・小島芳之・西藤潤・朝倉俊弘：れんが積み覆工トンネルの耐力評価に関する研究，土木学会論文集F1(トンネル工学)，Vol.49，No.1，pp.29-38，2013。
- 4) 真下英人・日下敦・砂金伸治・木谷努・海瀬忍：トンネル覆工の破壊メカニズムと補強材の効果に関する実験的研究，土木学会論文集F，Vol.64，No.3，pp.311-326，2008。
- 5) 鉄道総合技術研究所：鉄道構造物等維持管理標準・同解説(構造物編)トンネル，付属資料-13，2007。
- 6) 「山岳トンネル覆工の長寿命化技術」連載講座小委員会：山岳トンネル覆工の長寿命化技術(2)，覆工の設計・施工概論，トンネルと地下，Vol.46，No.3，pp.67-76，2015.3。
- 7) 国土交通省鉄道局：鉄道構造物の現状，第1回鉄道構造物の維持管理に関する検証会議資料1，<http://www.mlit.go.jp/common/000995186.pdf>。
- 8) 野城一栄・平田亮・岡野法之・小島芳之：種々の材料からなる山岳トンネル覆工の変形破壊挙動に関する研究，土木学会論文集F1(トンネル工学)，Vol.71，No.2，pp.78-94，2015。
- 9) 岡野法之・小島芳之・植村義幸：大型覆工模型実験によるトンネル覆工の変形特性の再現，第12回岩の力学国内シンポジウム講演概要集，pp.909-914，2008。
- 10) 岡野法之・植村義幸・小島芳之・西藤潤・朝倉俊弘：山岳トンネル覆工の内面補強に関する実験的研究，トンネル工学論文集，Vol.19，pp.69-76，2009。
- 11) 東日本旅客鉄道：土木工事標準仕様書，平成25年改訂版，日本鉄道施設協会，2013。
- 12) 中島純也・鈴木浩司・水野弘二・岩本義隆：小土かぶり区間で家屋に近接した鉄道単線トンネルの施工，JR吾妻線付替横壁トンネルII期工事，トンネルと地下，Vol.43，No.12，pp.7-15，2012.12。
- 13) 鉄道総合技術研究所：鉄道構造物等設計標準・同解説(コンクリート構造物)，pp.220-222，丸善，2004。
- 14) 野城一栄・小島芳之・新井泰・岡野法之・竹村次朗：圧縮破壊後の軟化を考慮した無筋コンクリート山岳トンネル覆工の数値解析手法に関する研究，土木学会論文集C，Vol.65，No.4，pp.1024-1037，2009。

文献紹介

解説

- 西嶋宏介：首都高速中央環状品川線における先端技術，土木学会誌，Vol.100，No.4，2015.4.
 特集/掘る(山岳編)，土木技術，Vol.70，No.4，2015.4.
 川相章：推進工法による曲線施工技術の歴史，特集/曲げる一伸ばす，土木技術，Vol.70，No.5，2015.5.
 特集/下水道管路資器材入門，月刊下水道，Vol.38，No.6，2015.5.
 上曾山優・新海裕隆・吉田聡志：地盤凍結工法とその応用技術，特集/温める一冷やす，土木技術，Vol.70，No.6，2015.6.
 松田博・浅川政和・原弘行：山口県国道191号須佐トンネル坑口盛土崩壊，特集/最近の豪雨災害の特徴と復旧，基礎工，Vol.43，No.6，2015.6.
 特集/日本の推進技術・最前線，月刊推進新技術，Vol.29，No.7，2015.7.

研究・開発

- 杉本恒美・歌川紀之・片倉景義：コンクリート構造物非破壊検査のための遠距離非接触音響探査法，JCSA報告，建設機械施工，Vol.67，No.4，2015.4.
 京免継彦：山岳トンネル自動換気制御システムの開発，換気の効率化と電力コストの削減が可能，建設機械，Vol.51，No.5，2015.5.
 野村和嗣：首都高中央環状線，3月7日全線開通，計画策定から約50年，首都圏3環状最初のリング完成，道路，Vol.889，2015.4.
 小泉悠・伊達健介・横田泰宏：山岳トンネルの切羽崩落予測システム，切羽ウォッチャー，建設機械施工，Vol.67，No.5，2015.5.
 山本達生・藤本祐樹・清水英樹：工事濁水の高度処理技術開発と実用化，自然環境に配慮した濁水処理技術「AQUA-FILTER SYSTEM」の紹介，建設機械，Vol.51，No.6，2015.6.
 藤内隆：インバート支保工設置ロボット，遠隔操作により安全性向上，建設機械，Vol.51，No.6，2015.6.
 藤内隆：山岳トンネル工事におけるロングブーム吹付機の導入効果，道路，Vol.891，2015.6.
 特集/リニア新幹線を支えるトンネル工事向け工法と技術①，建設機械，Vol.51，No.7，2015.7.

計画・設計

- 新名勉・志村敦・玉田康一・牛垣勝：阪神高速大和川線シールドトンネルの損傷制御設計，特集/巨大地震に備えて一地震・津波，基礎工，Vol.43，No.4，2015.4.

施工

- 今石尚・長光憲一郎：トルコボスポラス海峡横断鉄道トンネルにおけるシールド施工，岩盤泥水シールドの掘進と沈埋トンネルとの海底下直接接合，建設機械施工，Vol.67，No.4，2015.4.
 河田孝志・仲野義邦・岩野健：貫通 東南アジア最長44.6km：パハン・セラランゴール導水トンネル，建設機械施工，Vol.67，No.4，2015.4.
 中島健一：台湾における地下鉄工事への取り組み，建設機械施工，Vol.67，No.4，2015.4.
 特集/多様な管路を建設する推進工法，月刊推進技術，Vol.29，No.5，2015.5.
 特集/最近のケーソン工法，基礎工，Vol.43，No.5，2015.5.
 中田慎一：セグメント気中組立による急曲線管渠の構築，特集/曲げる一伸ばす，土木技術，Vol.70，No.5，2015.5.
 加藤彦枝：軟弱地盤でのR10mの急曲線施工に挑む，横浜市 北部処理区市場幹線下水道整備工事，特集/曲げる一伸ばす，土木技術，Vol.70，No.5，2015.5.
 山田浩幸：トンネル工事における安全の見える化技術，マンションと高速道路の狭間での超近接メガネトンネルの施工，建設機械，Vol.51，No.6，2015.6.
 生悦住賢吾・谷口翔：長大トンネルにおける可燃性ガス対策，東九州道猪八重トンネル南新設工事，建設機械，Vol.51，No.6，2015.6.
 中津留寛介：357号東京港トンネル工事報告，床版同時施工シールド工法(ボックスダンプ工法)，建設機械施工，Vol.67，No.6，2015.6.
 細井元規・後藤徹：川崎五反田川放水路整備事業における高水圧下大断面放水路トンネル築造工事，建設機械施工，Vol.67，No.6，2015.6.
 特集/多様な地下構造物を建設する推進工法，月刊推進新技術，Vol.29，No.6，2015.6.
 特集/下水道トンネル技術の成熟化，月刊下水道，Vol.38，No.9，2015.8.

連載講座

トンネル新技術への挑戦(8)

一曲線函体推進「まがる一ふ工法」

「トンネル新技術への挑戦」連載講座小委員会

① はじめに

今回は、トンネルの先行支保技術のひとつで、パイロット導坑から本線トンネル横断方向(リング方向)に曲線函体を推進設置させて本線トンネルの外殻を構築した後に本線トンネル内部の掘削を行うことでトンネルを構築する「まがる一ふ工法」について紹介する(図-1)。

近年、都市部大深度地下の有効利用にかかわる技術要求が増している。とくに道路の分岐合流部や鉄道の地下駅では、超大断面の地下空間が必要となり、その掘削の影響による地表面沈下を抑えるためには大規模な支保が必要になると考えられる。今回、トンネルの外殻を先行設置することで掘削影響を軽減し、コスト面・工期面でも貢献できる新技術の開発に挑戦した。

② 開発の背景

2-1 既存技術の課題抽出と開発方針

都市部トンネルでは、掘削影響による地表面沈下や既存する地下構造物への影響低減のためにシールド工法や補助工法を用いたNATMを採用してきたが、以下の点に改良が必要と考えた。

(1) シールド工法の場合

- ・地表面沈下抑制や止水性能は十分な実績があるが、分岐合流などの超大断面かつ複雑な断面形状に対応させるためには特殊な形状のシールドが必要となる。また、シールドとし

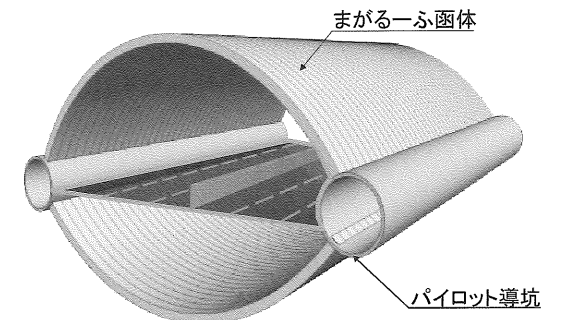


図-1 まがる一ふ工法イメージ

ては施工延長が短いことからコスト高になること。

(2) 補助工法を用いたNATMの場合

- ・曲線パイプルーフのような先行支保を地下水を有する地盤で用いた場合には、曲線パイプルーフの隣接する管と管の間の地山改良に凍結または止水注入が必要となる。とくに凍結を用いる場合ではトンネル完成まで凍結を維持する必要がありコスト高となること。
- ・凍結を用いた場合に近接構造物に凍結圧が影響すること。

シールド工法に比べて研究報告が少ない曲線パイプルーフに着目し、「管と管の間の地山改良軽減」を重点指向する方針とした。

2-2 開発への取り組み

参考とした既存技術はPSS-Arch(プレ・サポーティング・システム-アーチ)工法という曲線パイプルーフ技術である(図-2)。

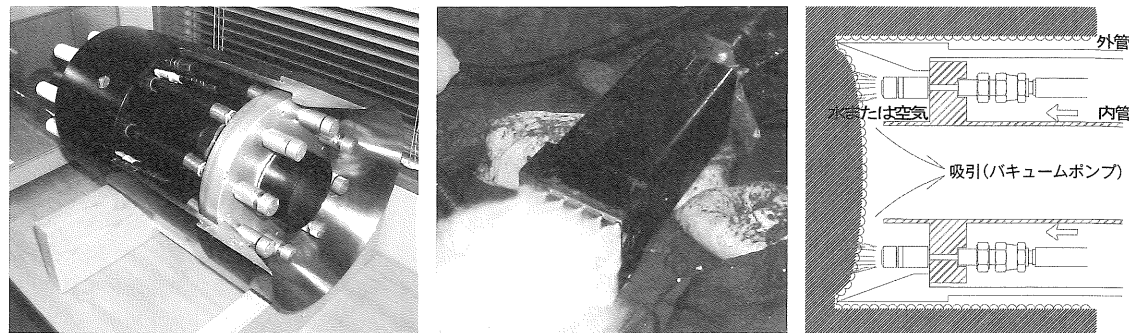


写真-1 PSS-Arch工法の掘削装置(左:円形, 中:矩形, 右:模式図)

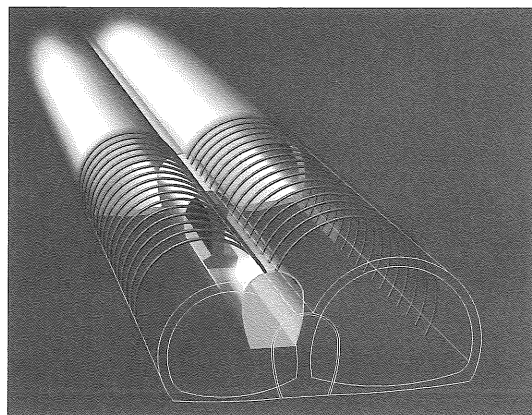


図-2 PSS-Arch工法のイメージ

PSS-Arch工法の掘削装置は、地下水のない砂層での施工に限定した開放型構造であり、掘削はウォータージェット併用の刃口推進で行い、排泥はバキューム吸引する掘削装置で引抜き回収が可能な構造となっている(写真-1)。

これをもとにして曲線パイプの改良が可能なかを検討することから開始した。

③ 開発の経緯

3-1 構成要素の選定

(1) 連続性を見据えた形状の選定

PSS-Arch工法では、設置した曲線鋼管(丸鋼管または矩形鋼管)をトンネルの支保工とする考えであった。隣接する管と管の間の地山改良軽減に着目した場合には、管が縦断方向に連続していれば地山改良が不要になることから、連続体の可能性を検討した。

例えば、明かり工事で用いられる鋼管矢板など

の直線部材を用いた施工では勘合継手を用いる場合があるが、曲線施工では継手部の接触抵抗が大きくなり推進施工に支障する。このため、開発の初期段階では、連続性確保に有利になりそうな構造や形状を検討し、矩形(函体)にした場合について深度化する方針とした。

(2) 対象地質

PSS-Arch工法では対象地質を地下水のない固結度の低い砂層としていたが、今回の開発では、大深度を考慮して軟岩相当とした。地下水については、ある場合とない場合の2種類に分ける考えとした。

(3) 掘進方法・掘削機械の選定

大断面トンネルの支保工の大きさを概略的に試算したところ、連続体と考えた場合で1.0m程度であることからPSS-Arch工法で用いた推進方法(先端部押し・後続部牽引)でも施工可能と判断し継承する方針とした。

掘削機械はツインヘッダーを選定した。ツインヘッダーが汎用機械でリース可能な機械であること、水中掘削の実績があることや構造が簡単で改良が必要な場合に有利そうなのが選定理由である。

PSS-Arch工法で採用していたウォータージェットは水中では効果が減じることから、地下水のない場合の候補とした。

(4) 排泥方式の選定

泥水循環式を基本としたが、地下水がない場合は泥濃式またはバキューム吸引式が有利な可能性が考えられるため実証実験で確認することにした。

3-2 実証実験

実証実験は2009年度より開始した。

以下に各年度の実験・試験施工の内容を記す。

- ① 2009年度：ツインヘッダーと泥水循環式排泥との適合性判断のため、直線形状で要素実験を行った(写真-2)。
- ② 2010年度：施工効率向上を目的に、函体を2連結した場合の要素実験を行い、推力・排泥状態を確認した(写真-3)。
- ③ 2011年度：到達側で推進機の回収ができない場合を想定し、引抜き回収を可能にする構造を考案。また、排泥を配管バキューム吸引にした場合で実証実験を行った(図-3, 写真-4, 5)。
- ④ 2012年度：過年度の要素実験の結果を踏まえ、曲線状態での基礎実験を行った。また、曲線函体の簡便な製造方法を考案することで函体の接続延長にも有効であることを確認し



写真-2 まがる一ふ工法の掘削装置(刃口方式(上:前面, 下:背面))

た(図-4, 写真-6)。

- ⑤ 2013年度：高速道路トンネルの路面隆起対策として試験施工区間に適用し、通行止めを回避しながらインバートを構築した(本誌2014年7月号(Vol.45, No.7, pp.7-18)にて報告済み)。
- ⑥ 2014年度：ガイドレールが短い場合に設置精度が悪くなった事例から、地下水がない場合に限定した「油圧ジャッキで函体を持ち上げてスペーサーを挿入する」方向修正方法について実証・確認した(写真-7)。
- ⑦ 2015年度：掘削装置を上下に可動できる機能を追加しオーバーカット量を調整しながら方向制御する方法、ならびに函体の位置確認方法について各種計測器を用いて実証実験を行った(図-5, 写真-8)。さらに、地下水がない場合に限定した開放型隔壁に変更し、切羽圧力保持の機能を省略した泥濃式とした実験

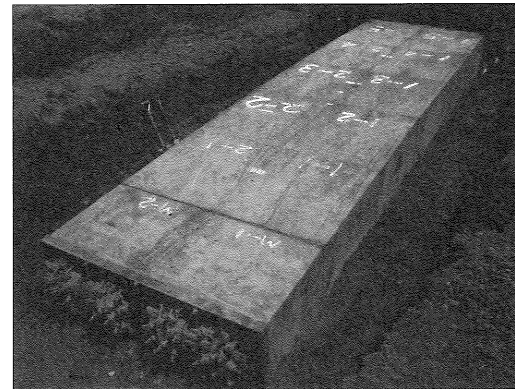
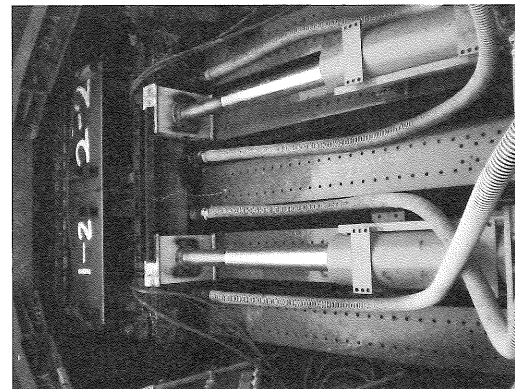


写真-3 2連結函体の施工状況(上:推進状況, 下:掘出し確認)

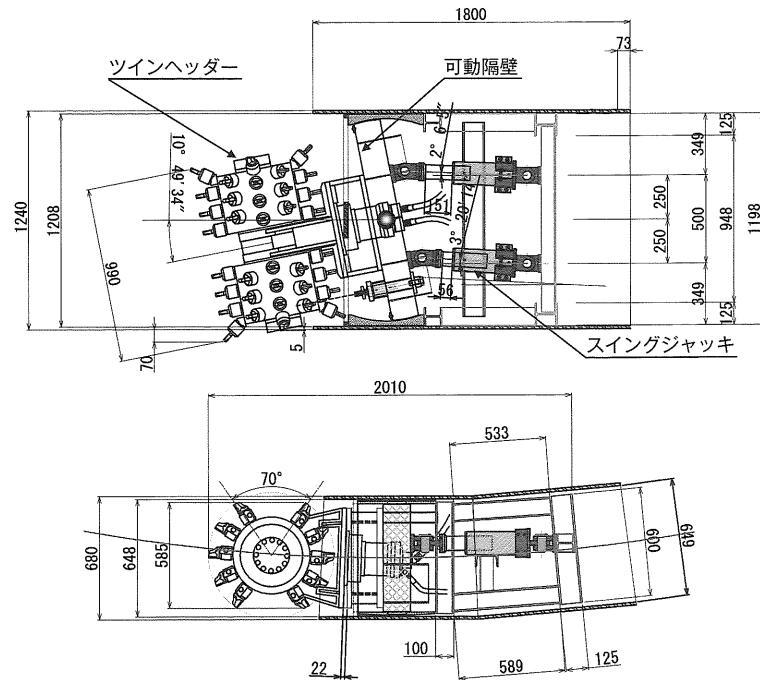


図-3 オーバーカットと引抜き回収を可能にするビット配置(上:スイング時の平面図, 下:側面図)

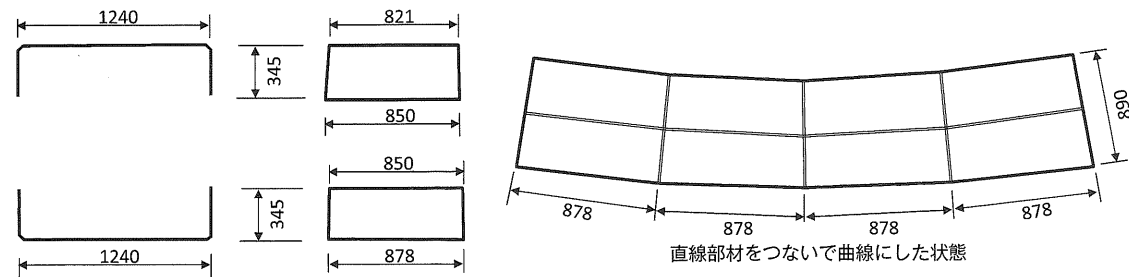


図-4 函体の形状(高さ890mm, 上下2分割, 擬似曲線)

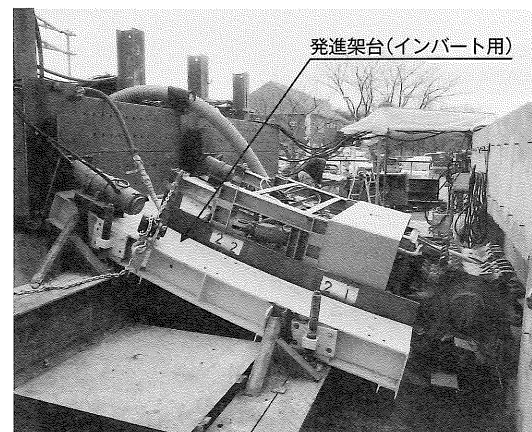


写真-6 曲線の実験状況(函体上部接続前)

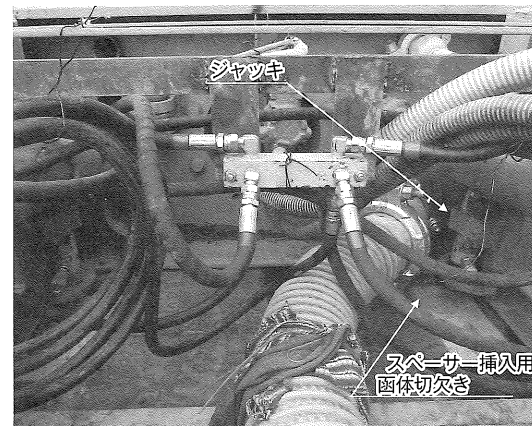


写真-7 函体切欠きとジャッキ

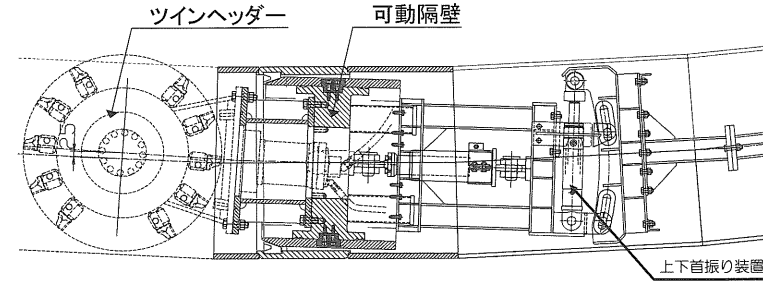


図-5 上下首振り装置

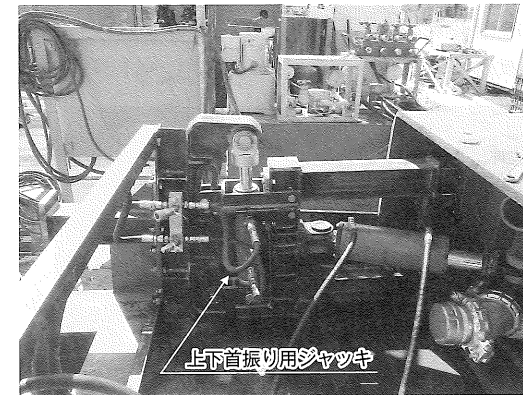


写真-8 上下首振り装置

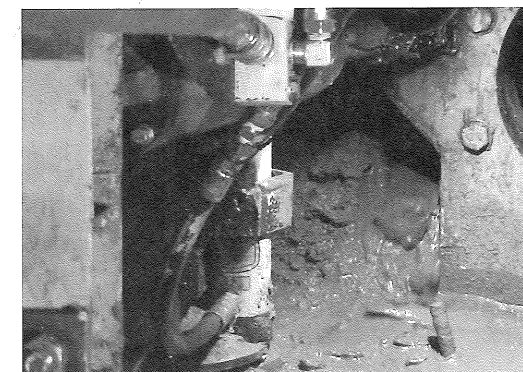
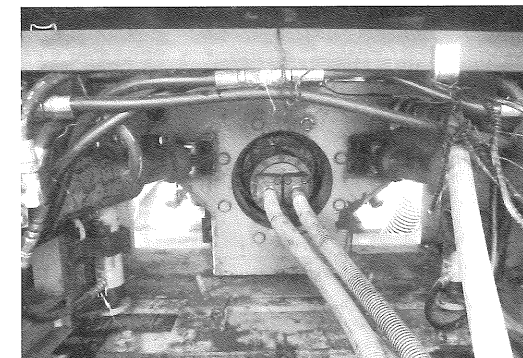


写真-9 開放型隔壁(上)と排泥の状態(下)

を行った(写真-9)。

3-3 実証実験のまとめ

実証実験から得られた知見を以下に記す。

(1) 排泥方式

密閉型の泥水循環式では、礫が配管口に詰まり閉塞する症状が観察された。想定された事象であり、配備してあった電磁バルブで予備排泥管に切り替えて逆送することで良好な結果となった。

開放型の泥濃式では、閉塞がもっとも懸念される粘性土の場合でも加水して流動性を確保することで隔壁後方までは十分な排土が可能ことが確認できた。実験では隔壁後方の排泥を人力によるバキューム吸引としたが、今後は函体外からの遠隔操作を目指す予定である。開放型泥濃式は地下水のない場合に限定される方法ではあるが、泥水循環式に比べて作業効率が高く閉塞のリスクも低いと判断される。

配管バキューム吸引式では、配管内で閉塞する症状が観察された。砂と礫が混在する地質や破碎地質では閉塞のリスクが高いと判断される。

(2) 方向制御と位置計測装置

方向制御の方法は、函体周囲のオーバーカットを左右と上下の2つに分けることで計画した。推進中にスイングジャッキを用いて隔壁に固定したツインヘッダーを左右に動かすことで左右のオーバーカット掘削が可能となる。上下は函体寸法より大きくなるようにビット高さを調整したことでオーバーカット可能である。しかし、函体と地山の隙間部分に掘削スライムが入り込んで方向制御に支障する症状が観察された。対策として上下首振り装置(図-5)を追加装備して隔壁の角度を変えて上下のオーバーカット量を制御することで函体の方向制御が可能なることを実証した。

ここで、先端位置の計測方法については従来のジャイロや測距儀を用いた方法よりも逐次性・測定精度に優れた方法が望ましいことから、新たな計測システムを確立すべく研究を開始した。

最新型の3Dジャイロや自動追尾型の計測器を用いた実証実験もくり返し行ったが、掘進中の振動などの影響により誤差が生じやすいため他の方法を模索した。

最終的に選定した計測方法は、写真-10に示す傾斜角度計をすべての函体に順番に固定(磁石)設置してゆく方法で、推進中の函体の角度変化を精度良く逐次的に計測することが可能であることを確認した(図-6)。

(3) 函体の接続方法と製造方法

函体サイズが大きい場合は、ロール製品の曲げ

加工が困難でビルトアップが必要となり高価になりやすいことより簡便な函体製造方法を検討した。

検討により明らかになった課題は函体の接続にかかわる作業性の確保であった。

函体の接続は溶接を原則としたが、函体の内側を溶接する場合には、作業員が函体内部に入って溶接する必要があるため作業性が悪い。外側を溶接する場合、例えばインバート施工においては函体下面の溶接を行う作業スペースがないため無駄な余堀りが必要になることから回避したい方法である。

検討から生まれたアイデアは函体を上下に分割

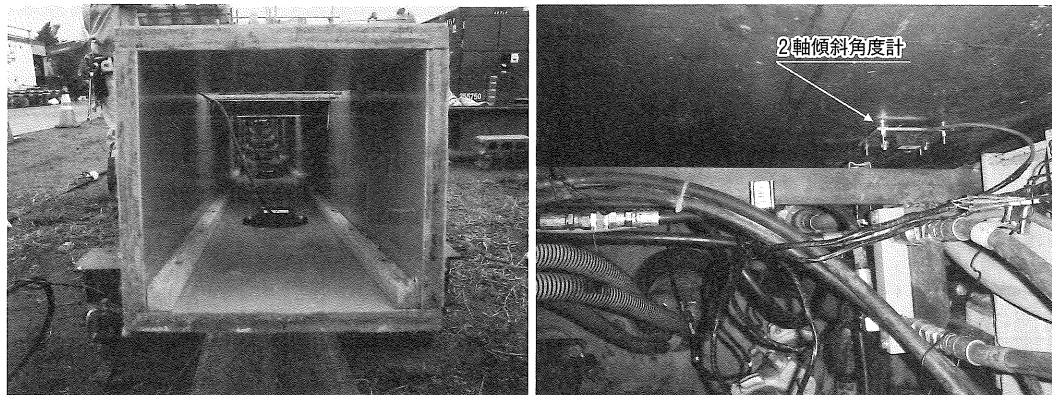


写真-10 予備実験中の角度計配置(左), 実証実験中の角度計設置状況(右)

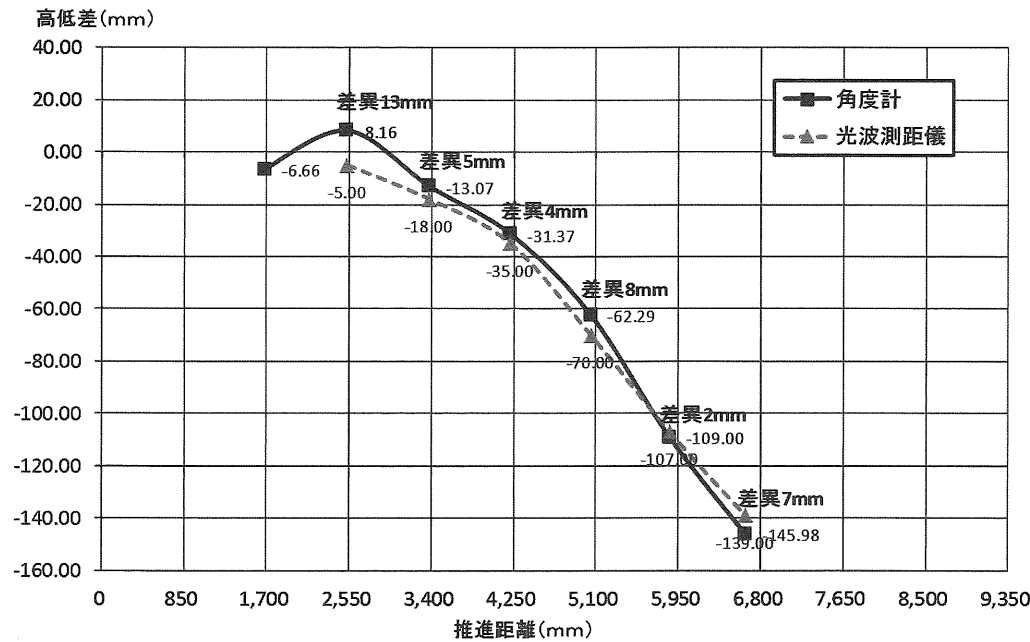


図-6 角度計による位置計測精度(光波測距儀との比較)

し、下半分は函体の内側を溶接、上半分は外側を溶接する方法であり、擬似曲線の考え方と合体することで、寸法切りした鋼板を曲げ加工するだけの簡単な加工で函体製造が可能になる相乗効果をもたらした(図-4)。

(4) 推進方式

まがる一ふ工法の推進方式は原則としてPSS-Arch工法で採用していた先端牽引(先端部押し、後続部牽引)方式を継承した。理由は、到達側で掘削装置の回収ができない場合に函体内部を通して掘削装置を引抜き回収させるためである。

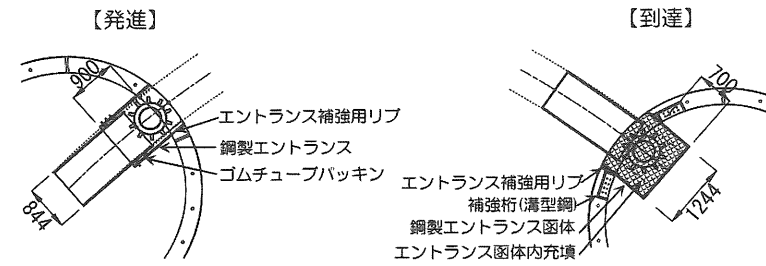


図-7 エントランス部防護方法の例(模式図)

2013年度に実施した供用中の高速道路トンネルにおけるインバート構築では、引抜き回収が可能なことから、2車線のうち片側車線を交通規制して作業基地にすることでインバート構築が可能なが実証され、通行止めを回避するための有効な要素技術となった。

(5) 連続体を考慮した発進・到達方法

帯水地盤に曲線管を設置する場合は地下水流入を防止できるエントランスが必要になる(図-7)。

このエントランスは管を連続させる場合に支障となる。発進側については1本完了ごとにセグメントの開口補強などを盛り替えることで対処可能である。一方、到達側では方向制御誤差を考慮した場合に切削可能セグメントを縦断方向に連続させる必要があり弱点となることが懸念される。

検討の結果、先端牽引方式を

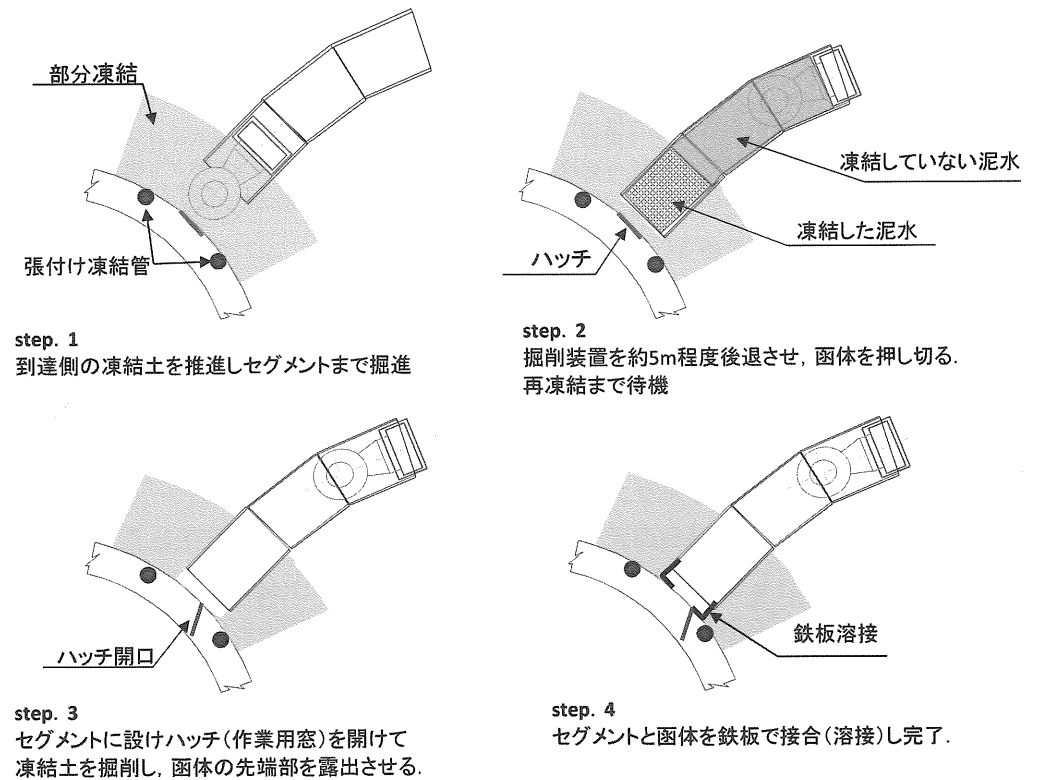


図-8 到達側の接続方法(模式図)

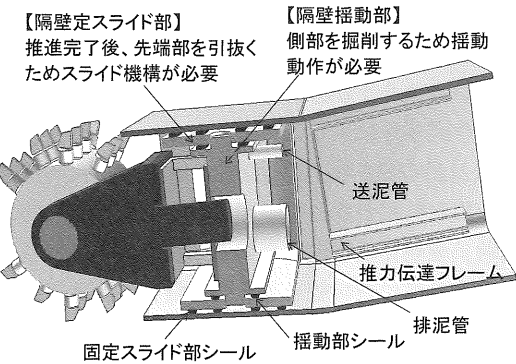


図-9 掘削装置の内部構造と止水装置

用いた図-8に示すようなアイデアが生まれた。

④ 残された問題

これまでの開発により、地下水の影響がない地質(水位低下工の併用が可能な場合を含む)での施工は十分可能な機能を開発・装備することができたと考える。地下水がある場合については、大別してエントランス部の止水性能と掘削装置の止水性能が必要となる。エントランス部の止水性については、図-8に示した方法により確保できる。掘削装置の止水性については、止水が必要な機械部品の接合点や可動部分が数箇所ある複雑な構造であることから従来型の止水ゴムでは止水性や耐摩耗性に不安が残る(図-9)。このため、シンプルな構造の止水方法について開発中である。

⑤ おわりに

外殻をリング状に埋設するためには、曲線の施工が必要であり、高度な技術レベルが要求される。しかし、リング状に形成された外殻こそが最強の支保になると信じて現在も開発を進めている。

途中、挫折しそうになったこともある。それを支え続けた仲間達の「諦めない」が継承されることこそが「トンネル新技術への挑戦」ではないかと考える。

最後に、ご指導・ご教示いただきました関係各位に深謝いたします。

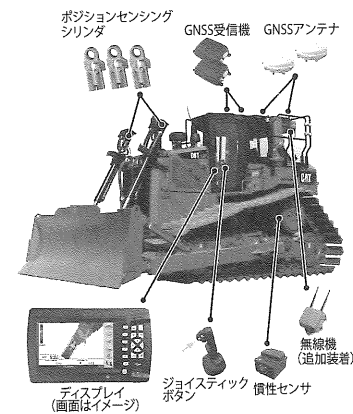
(文責：岩永茂治/(株)熊谷組)

参考文献

- 1) 岩永茂治・小田原秀明：超大断面トンネル構築技術、建設機械、Vol.50, No.2, pp.39-42, 2014.2.
- 2) 鈴木雄吾・岩永茂治：通行止めを回避した新たなトンネル路面隆起対策技術の適用、長野自動車道 一本松トンネル、トンネルと地下、Vol.45, No.7, pp.7-18, 2014.7.
- 3) 岩永茂治：まがる一ふ工法、これからブレイクする曲線函体推進工法、月刊推進技術、Vol.28, No.12, pp.30-33, 2014.12.
- 4) 鈴木雄吾・岩永茂治：曲線函体推進工法「まがる一ふ工法」による高速道路インバート構築の事例、月刊推進技術、Vol.26, No.6, pp.25-30, 2015.6.

工法・技術・製品ニュース

製品 3次元マシンコントロール搭載ドーザと土工用振動ローラを発売



CAT®グレードコントロール3Dブルドーザ



CAT®土工用振動ローラ CS56B

キャタピラー・ジャパン(株)
GCI Marketing Innovation
TEL. 03-5717-1292
<http://www.caterpillar.com/>

キャタピラー・ジャパンは、国土交通省が推進するi-Constructionに対応するブルドーザ用3次元マシンコントロール「Catグレードコントロール3D」を搭載したブルドーザD6T、D8Tと、オフロード法2014年基準をクリアする環境性能を備えたCat土工用振動ローラBシリーズ、CS54B、CS56B、CS78Bの3モデルの販売を始めた。

ブルドーザに搭載されるCatグレードコントロール3Dは、ブルドーザ本体との統合を進めることで整地・掘削作業における生産性を向上させるとともに、オペレータ操作の軽減が可能なCat純正の内蔵型3次元マシンコントロールシステム。生産性や品質の向上に役立つほか、熟練オペレータ不足などの課題にも対応する。同社が提供する現場・事務所・遠隔での情報共有システム「VisionLinkR」(ビジョンリンク)と組み合わせることもでき、事務所での工事の進捗を把握・判断できるなど、i-Constructionに対応した施工管理が可能になる。さらに、デュアル

GNSSシステムによる正確なブレード自動制御により、より少ない移動回数で作業が完了するため、施工時間が短縮され、燃料消費量も減少するほか、ブレード制御モードとブルドーザ本体との協調機能を組み合わせることでオペレータ操作の低減と生産性の向上を両立させる。

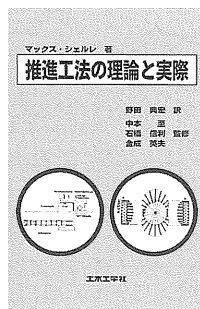
Cat土工用振動ローラBシリーズは、振動システムとして実績のあるCatオイルバス式ポッド型振動システムを搭載し、Bシリーズではさらなる起振力の向上を実現した。走行システムに2走行ポンプシステムを採用することで、ドラム(前輪)とリアアクスル(後輪)それぞれ専用のポンプ・モータを装備して、安定した走行性能を発揮する。このほか、国土交通省の『TS・GPSを用いた盛土の締固め情報化施工管理要領』の各種レポートに対応可能なi-Construction締固め管理システム(マッピング)にオプションで対応するほか、オペレータ環境、メンテナンス性も向上するなど、製品品質を高めている。

推進工法の理論と実際

B5判 437頁 本体価格8,500円 送料460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。



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

岩盤地下空洞の設計と施工

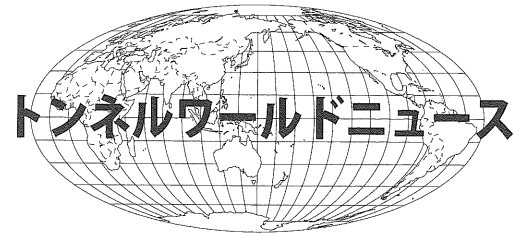
E. フック・E. T. ブラウン共著/小野寺透・吉中龍之進・齊藤正忠・北川隆 共訳

B5判・442頁・上製本 本体価格9,800円(〒450円)



株式会社 土木工学社

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



(一社)日本トンネル技術協会
国際委員会

WATERVIEW CONNECTIONが 掘削貫通

先月、オークランドのWaterview接続事業において、TBMの折返し掘削により2本目のトンネルが貫通した。これまでに南半球で使用された最大のTBMの1機として、請負業者McConnell Dowellに発注されたAliceは、直径14.4mのヘレンクネヒト社製EPBMで、今回延長2.4kmを掘削した。

9.5億米ドルのWaterview接続事業は、これまででニュージーランド最大の道路プロジェクトとなる。同事業には、国内最長の道路トンネルとなる3車線の双設トンネルや、オークランドの北西および南西の高速道路(州高速道16号線と20号線)を接続するための巨大なインターチェンジの建設工事が含まれる。

Fletcher社、McConnell Dowell社、Parsons Brinckerhoff社、Beca Infrastructure社、Tomkin & Taylor社および大林組の6社JVが本プロジェクトを担当し、オークランドに拠点を置くWilson Tunnelling社とスペインのトンネルコントロール専門集団SICE社が1次下請けとして協力する。

トンネル掘削は2013年に始まり、2014年9月に1本目のトンネルが貫通した。その後、Aliceは2本目の掘削に取り掛かるため180度転回した。

地質はおもに1~5MPa程度の平均強度を有する砂岩からなる。トンネルでは最大120MPaの強度を有する硬質砂岩層と交差するリスクがわずかばかりあったが、これには出くわさなかった。

オークランド・ニュージーランド交通局の高速

道路マネージャーは、「オークランド住民の市内交通方法を変えるプロジェクトにとって、トンネル貫通は画期的な出来事だ。オークランドハーバーブリッジの2倍の長さを有するトンネル建設に関連するリスクは常に高いものであり、安全かつ工期内に工事を完了するための技術力と革新力を備えていた点で、Waterviewチームは当然のごとく称賛されるべきである。これは素晴らしい成果だ」と述べた。

16の連絡坑が接続する建設中の2本のトンネルを含む工事は、機材調達を受けながら継続される。交通局によると、2017年の早期にトンネルや隣接するGreat North Roadインターチェンジが開業予定である。

(T&T '15.11 担当:法橋亮・戸田建設(株))

カタールで下水トンネル建設の 請負業者に任命された Bouygues-UrbaCon JV

カタール公共事業局は、下水トンネルの設計および施工の2契約を、Bouygues社の系列会社と地元の請負業者(UrbaCon社)に発注した。両契約でおよそ6億1,750万米ドルとなる。

Bouygues社の系列会社でDTPやVSLを担当する副最高経営責任者は、「カタール公共事業局によって選ばれたことを誇りに思う。この野心的なプロジェクトのために、われわれは顧客の懸念事項に対して効果的に問いかけ、彼らの期待に完全に応えられるような革新的な技術ソリューションを開発したのだ」と述べた。

同JVは、2本の下水トンネルをドーハに建設することになる。北地区(MTS01)は延長16km、幅3m、南地区(MTS03)は延長14km、幅4.5mのトンネルとなる。

これらの契約は、「IDRIS(ドーハ国内の下水道実施計画)」として知られる、ドーハ南部における下水回収、ポンプ設備および処理サービスの事業計画の一部を担っている。

近年、カタールの首都では継続的に人口が増加し、下水システムの再設計や拡張が必要とされて

TBMがブランデンブルグ門に到達

ベルリン地下鉄のU5延伸工事の掘削を行っていたTBMが目的地に到達した。この直径6.67mのヘレンクネヒト社製の泥水式のシールドTBMは、2013年の6月にMax Engels Forumを出発し、10月にブランデンブルグ門に到達した。延長1,620mの双設トンネルは、土かぶり5~17mで建設されており、シュプレー川、シュプレー運河、宮殿広場の下を通過していた。

地質は不均質な土砂で、細かい砂、花崗岩の岩片、粘土塊、高圧の地下水で構成されていた。

安全に河川の下を通過するために、当初は、川や運河の川岸に沿って安定対策が計画されており、鋼矢板で補強するなど入念な計画であった。ヘレンクネヒトの広報は、最終的な対策の変更に関して以下のように説明した。「『当初計画の変更』は、安全管理に関するコンサルタント業務のために小土かぶりのトンネルに対しても使用できるよう泥水式のシールドTBMを大きく改良した。いくつかの区間において、このTBMは高濃度懸濁液による掘削をできるようにした。」

高濃度の懸濁液を使用したことで、従来の加泥剤と比較して逸泥が少なく切羽の安定性が高まった。比重1.4t/m³の高濃度懸濁液を使用しておかげで、この機械は安全にシュプレー川の下を通過できた。高濃度懸濁液の運転のための機械の改良は、設計・組立て時に既に考慮されていた。掘削中に新たに修正する必要はなかった。

(T&T '15.12 担当:辰巳順一・(株)安藤・間)

英国で地下空間有効利用に関する グループが発足

地下空間の有効利用のための新しいグループが、ロンドンで活動している。当グループは、「地下空間利用のための学際的活動グループ」(Mag2us)という名称で、9月での発足以来、2回の会合を開催している。グループの暫定目標は、第2回会合に先立ち、次のように設定された。

・地方自治体の企画部門やその他の関係機関が

おり、このことを背景として、カタール公共事業局は、最新の下水道ネットワークを地下回収システム有する大規模なネットワークへと置き換える決定を下した。同システムは、トンネル内における排水の流れを確保するために自然流下方式を採用するなど、持続的発展の原理に従って設計された。同プロジェクトは、2019年までの工期として今夏開始された。

Bouygues社は、数年来カタール国内で工事を行ってきた。系列会社の1社は、カタール国営石油地区、9棟のオフィスビルを含む70万m²にも及ぶ複合(土地)資産、400の客室を有する5つ星ホテル、5,300台の駐車スペース、その他施設間に位置する会議センター、およびアラブ首長国連邦での最初のプロジェクトを手掛けている。その間の1993~1996年にかけて、別の1社も、カタール北部のRas Laffanで液化ガス貯蔵施設の建設工事を担当した。

(T&T '15.11 担当:法橋亮・戸田建設(株))

ルールキラでの貫通

デリー地下鉄第3フェーズのトンネルのうち、カシミアゲート~ルールキラまでのCC-07トンネルが貫通した。

施工はロシアのMetrostroy OS社と地元のERAインフラ社とのJVである。

TBMは2014年12月6日にカシミアゲート立坑から吊下ろされ、同月26日から初期掘削を開始し掘削が進められていた。同トンネルの最大土かぶりは16mで、貫通したトンネルのマシンは直径6.61mのテラテック社製EPBMで、33個の17inディスクカッターを持ち、1,351mを掘削した。取材時には並行するもう1本の1,356mのトンネルが掘削中であった。

第3フェーズトンネルは、Violet Lineをカシミアゲート駅でYellow LineとRed Lineに接続される予定である。これは、中央事務局とカシミアゲート駅間の混雑緩和の代替案となる。

(T&T '15.11 担当:山下高俊・三井住友建設(株))

- 地下空間を取り扱うときの意思決定を手助けするための「地下空間マニフェスト」の作成
- ・学問分野間のラウンドテーブルディスカッションやワークショップ
- ・地下空間利用に関する各学問分野間の協力関係の改善
- ・講義や視察内容の整理
- ・地下空間の枯渇へのアプローチ(「早い者勝ち」の禁止)
- ・3次元空間計画戦略の作成

グループの発足にあたっては、ITA-CUSだけでなく、ITAワーキンググループ20(都市問題、地下ソリューション専門)のメンバーが、BTS、BTS-YM、ITA、ITA-YM、社会資本整備にかかわる議員連盟、Urban(ロンドンを拠点とする都市計画・設計事務所)および英国地質調査所の代表者と対話するためにロンドンに招集された。

マニフェスト(または「政策方針書」)がまもなくリリースされる予定だが、現時点で詳細が入りできないため、第2回会合の内容を本誌(T&T)に掲載する予定である。

ITA-YM副議長のPetr Salak氏は、当グループの存在意義を次のように説明した。

「当事者の多くは、地下空間利用に関する規律についてその都度お互いに話し合いをしなくて良いという点でMag2usの必要性に合意している。当グループに多くの異なる当事者が含まれることから、地下空間の取り扱い方が大きく変わる可能性がある。」

Mag2usは、国際的な地下空間群での争いを仲介するという、英国のニーズに焦点を当てている。優れた実践例を与え、立法の改善だけでなくロビー活動を提案するなど、行われるべき方法を示すことにより、地下空間の計画を支援する。

当グループ設立の成果として、LULの支援を受けて設置したダウンストリート駅は廃止された。参加者は、第二次世界大戦中の輸送業務に役立てられたダウンストリート駅のような既存の地下空間の潜在的な用途を考慮すること奨励した。(T&T '15.12 担当: 岡嶋和義・大成建設(株))

ノルウェーRossagaで20年ぶりに1回目のTBM貫通

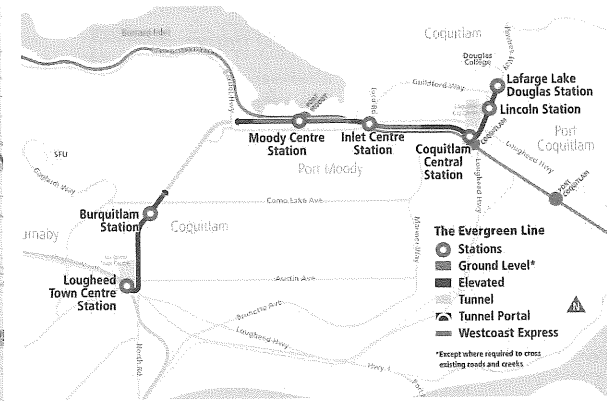
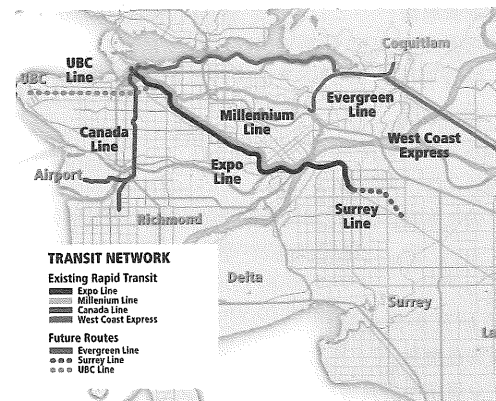
ノルウェーのRossaga水力発電所工事で2015年12月10日に最初のTBM貫通があった。直径7.2mのRobbins社製マシンでノルウェーでは20年ぶりのTBM貫通になった。この導水路トンネルは全長7.4kmで超硬岩地山の掘削であったが、さまざまな苦難をクルーに課してきた。硬く石英含有率が高い地山で一軸圧縮強度は300MPaであったが、カルスト石灰岩層では大量のトンネル湧水もあったと、施工会社のLeondhard Nilsen & Sonner企業体のTBM掘削マネージャーMr. Tobias Andersson氏が述べた。このような地質条件でも最大週進250mを達成し平均でも180~200mは確保していた。その要因は、硬く摩耗性が高い岩質でディスクカッターの迅速な交換とマシン運転技能に習熟し、異なる地質での多様な掘進条件を克服し、質に適したディスクカッターの選択と硬岩切削によるマシン振動対策をコントロールしたことだ。何よりカッター交換チームの努力でカッター交換時間の短縮を1個あたり10分でできたことに勝算があった。このマシンは硬岩掘進に適応するべく製作され2014年1月に発進したが弱層帯でも掘進速度が落ちない機能も備えていたとAndersson氏は付け加えた。

(T&T '16.1 担当: 篠原慶二・前田建設工業(株))

エバーグリーン線のトンネル掘削が完了

バンクーバーのエバーグリーン線において、これまでの工程の遅れにより開通予定が2017年にずれ込んでいるが、トンネル掘削が完了したと当局が11月27日に発表した。

このトンネルはTBMを用いて掘削され、Barnetハイウェイ東側のPort MoodyからCoquitlam市のKemsley通りの南部までの長さ2kmの1本のトンネルである。この工事はエバーグリーン線計画にとってきわめて重要な部分で、



Barnet, Port Moody, Coquitlamを既存のスカイトレインに接続する。本トンネルの掘削はこの計画の中でもっとも複雑かつ技術的にも難しい部分であったという。

Todd Stone交通相によれば、「本日の当トンネルの掘削完了は当計画と地域にとって画期的である。エバーグリーン線計画は75%以上が完成しており、本トンネルを含む工事も順調に進んでいる。本事業が完了すればブリティッシュ・コロンビア州には世界最長で完全自動制御の高速交通ネットワークができることになる。」という。

Burquitlam, Port Moody, Coquitlamの高架部と平面交差部は完成しており、駅も80~99%が完成している。エバーグリーン線にはLougheed Town Centre駅、Burquitlam駅、Moody Centre駅、Inlet Centre駅、Coquitlam Central駅、Lincoln駅、Lafarge Lake-Douglas駅の7駅が造

られる。

2012年10月、交通省は11.8億米ドルでEGRT Construction社と設計と施工の契約を結んだ。同社はSNC-Lavalin社を代表とするJVであり、SNC-Lavalin Constructors Western社、Graham Building Services社、International Bridge Technologies社、Jacobs Associates Canada Corporation社、Rizzani de Eccher、Seli Canada社、SNC-Lavalin Constructors社により構成されている。同社は高架部と平面交差部、トンネル、7つの駅、変電所、列車運行管理システム、道路工事、車庫、メンテナンス用設備を担当する。

トンネルの内装工事と設備工事は2016年夏まで続き、車両の試験走行は同年秋に、供用開始は2017年上旬の予定。

(T&T '16.1 担当: 安井真太郎・東京都交通局)

『トンネルと地下』投稿原稿応募のご案内

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

一般社団法人

日本トンネル技術協会



1. 会員の現状

| | 5月31日現在 |
|------|---------|
| 個人会員 | 917名 |
| 団体会員 | 204名 |
| 推薦会員 | 208名 |
| 特別会員 | 8名 |
| 名誉会員 | 4名 |
| 賛助会員 | 202名 |
| 合計 | 1,543名 |

2. 平成28年度第1回理事会, 第1回顧問・評議員会

日時: 平成28年5月11日(水) 12:00~13:00

場所: 弘済会館4F「萩」

出席者: 理事15名, 監事3名, 計18名

顧問1名, 評議員16名, 計17名

主な審議事項:

- ①平成28年度理事, 監事, 評議員の構成
- ②特別会員の推薦
- ③名誉会員の推薦
- ④各種委員会委員長の選出
- ⑤定時総会議案

上記審議結果を総会に報告, 上程することとした。

3. 委員会の開催状況(5月1日~31日)

①運営広報委員会関係

◎総務委員会

・広報小委員会

会誌WG(5/10)

小山幸則主査ほか11名, 6月号の会誌と3か月計画を検討

◎国際委員会

- ・国際委員会・ITA統括WG打合せ(5/27)
砂金伸治主査ほか5名, ITA年次総会・WTC 2016報告
- ・海外文献小委員会
海外ニュースWG(5/25)
佐々木養一主査ほか8名, 海外文献の査読
計 3回開催 27名出席

②調査研究委員会関係

◎技術委員会

- ・安全環境小委員会打合せ(5/17)
佐溝時彦委員ほか4名, 安全啓発資料を検討

◎受託研究特別委員会

- ・長期耐久性特別委員会
コア幹事会(5/24)
松岡茂幹事長ほか14名, 作業状況確認および方針を検討
計 2回開催 20名出席
- 合計 5回開催 47名出席

個人会員のメールアドレス登録依頼

積極的な情報提供を行うため, 団体会員の窓口および個人会員のメールアドレスを登録していただいております。協会の催物をはじめ各種の連絡事項などの発信に活用させていただいております。積極的にご登録をお願いします。なお, 登録後変更が生じた場合はご連絡願います。

①メールアドレス登録方法

送信タイトルを「JTAアドレス登録」とし, 氏名・所属・TEL・E-mailアドレスを記載のうえ webmaster@japan-tunnel.org まで送信願います。

②その他: 協会からの情報を発信する場合は当面送信タイトルに「jta」を明記します。

4. 国際会議の開催予定

| 会議名 | 開催日 | 場所 | 主催者等 |
|---|----------------|--------------|---|
| 第43回ITA総会およびコンgres「Surface problems -Underground solutions」 | 2017. 6. 9~15 | ベルゲン (ノルウェー) | Norwegian Tunnelling Society, ITA (国際トンネル協会) http://www.wtc2017.no/ |
| 第44回ITA総会およびコンgres「Smart Cities : Managing the Use of Underground Space to Enhance the Quality of Life」 | 2018. 4. 20~26 | ドバイ (UAE) | Society of Engineers-UAE, ITA(国際トンネル協会) http://www.uaesocietyofengineers.com |

*会議に関する詳細は事務局(担当: 関)までお問い合わせください。 TEL: 03-3524-1755 FAX: 03-5148-3655

5. 平成28年度催物開催現況

(平成28年5月現在)

| 催物名 | 開催日 | 人数 | 場所 | CPD取得単位 |
|---|-------------|-----|-----|---------|
| (現場見学会) | | | | |
| 横浜市下水道トンネル現場研修会(磯子トンネル) | 2016. 5. 20 | 21 | 神奈川 | 2.0 |
| 新東名高速道路トンネル建設工事現場研修会(羽根トンネル) | 2016. 6. 28 | 25 | 神奈川 | 2.5 |
| (施工体験発表会) | | | | |
| 第78回(山岳)「課題克服に取り組んだトンネル工事—新技術, 創意工夫, 周辺環境への配慮—」 | 2016. 6. 22 | 200 | 東京 | 5.9 |
| 第79回(都市)「市街地における地下構造物の新設および改良工事—近接, 拡幅, 再構築等の施工事例—」 | 2016. 6. 23 | 200 | 東京 | 4.3 |
| (講習会) | | | | |
| 都市トンネルのための地盤改良講習会 | 2016. 5. 18 | 44 | 東京 | 5.7 |

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

個人会員加入のお誘い

技術の習得のために個人会員に加入してはいかがでしょうか。協会ホームページの申込書で簡単に入会手続きができます。

個人会費: 年12,000円(月1,000円)

特典1: 協会の機関紙『トンネルと地下』を毎月お届けします。

特典2: 協会刊行図書が個人会員価格で購入できます。

特典3: 協会開催の各種催物に個人会員価格で参加できます。

ご意見ご要望をお待ちしております

当協会のホームページ・情報開示や諸活動に対するご意見ご要望がありましたら下記へご連絡願います。担当委員会と協議し, できるだけ会員のニーズを反映した活動を実施したいと考えております。

TEL: 03-3524-1755 FAX: 03-5148-3655 E-mail: webmaster@japan-tunnel.org

8月号予告[8月1日発売予定]

- 磐越自動車道 鳥屋山トンネル
 - 南三陸道路 4号トンネル
 - 鹿野川ダムトンネル洪水吐
 - 東京都水道局 第二淀橋幹線
 - 東京下水道 王子西1号幹線
- 【連載講座】
- トンネル新技術への挑戦(9)

*内容等は変更になる場合がございます

編集後記

◆6~7月のいまごろは、11月に開催されるマラソン大会の申し込みが始まる時期です。昨年の11月には日本全国で300もの大会が催されたそうです。私じしん、11月は、こしばらく、茨城県つくば市で開催される大会に出場しています。つくば市は芝生の生産が日本一とあって、コースの沿道にも芝生畑が多く、緑が広がる風景を作り出しています。芝生畑とともに目につくのが研究施設です。土木研究所をはじめとした建設系の研究所も多くありますが、ことトンネルに関していうとKEK(高エネルギー加速器研究機構)を忘れるわけにはいきません。敷地内にある地下約10m、周長約3kmの巨大な電子・陽電子の加速器リングを抱えたトンネルの存在は走っていても気になります。私がつくばのマラソン大会に参加を始めた以降は、加速器の改修工事が進められていたのですが、ニュースでは、今年の3月から新たな加速器の試験運用が始まっており、来年にも運用が再開とのことです。本誌の5月号では東北地方に設置が検討されているILCが紹介されましたし、おなじく5月に、ヨーロッパにある世界最大の加速器CERNも2016年度のデータ収集を始めたと言いました。研究施設としての地下利用は素粒子物理学を通じてすっかりおなじみになったといえるでしょう。この7月には、高知県室戸市で地下に設置された津波避難用のシェルターが完成予定とのことです。このところ大深度地下を含めて地下空間利用の多様化がずいぶん進んできた印象です。社会活動のフロンティアとして地下空間の有効利用は長く求められています。これからますます地下空間利用がわれわれの生活に親しみのあるものになることを願います。

(K.K.)

★購読の申し込み、または、送付先変更などの問い合わせは(株)土木工社までご連絡ください。

★(一社)日本トンネル技術協会会員の方の住所(送付先)変更は直接(一社)日本トンネル技術協会へご連絡ください。

トンネルと地下

第47巻 第7号 (通巻551号)

ISSN 0285-631 X

Tonneru to chika

平成28年6月20日 印刷

平成28年7月1日 発行

一般社団法人 日本トンネル技術協会

会長 佐藤 信彦

〒104-0045 東京都中央区築地2丁目11番26号(築地MKビル6階)

TEL : 03-3524-1755

FAX : 03-5148-3655

http://www.japan-tunnel.org

発行所 株式会社土木工社

〒162-0832 東京都新宿区岩戸町16番地メイジャー神楽坂

TEL : 03-3267-2888

FAX : 03-3267-2807

http://www.tunnel.ne.jp

発行人 山本 育徳

編集人 山本 勝誉

印刷 新協印刷株式会社

本誌の購読について

■購読をご希望の方は、書店または土木工社へ直接お申し込みください。

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

購読料

1冊 1,620円(送料110円)
(本体価格 1,500円)

1年 15,000円(前納)

振替 00110-8-190072

本誌広告のお申し込み方法

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

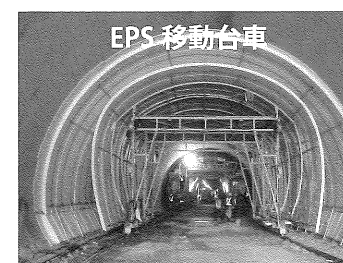
本誌掲載記事が無断で複写(コピー)および転載することは、著作権上での例外を除き、禁じられております。本誌から複写または転載を希望される方は、小社(03-3267-2888)までご連絡ください。

トンネル二次覆工型枠総合メーカー

新しいタイプの覆工コンクリート養生システム



EPS パネル養生工法



EPS 移動台車

| 実績および計画 | | |
|---------|----|-----|
| 施主 | 実績 | 計画中 |
| 国土交通省 | 28 | 0 |
| NEXCO | 6 | 1 |
| 地方自治体 | 25 | 4 |
| 鉄道・運輸機構 | 1 | 0 |

平成28年4月1日 現在

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

EPS パネルの保温性、保湿性が効く

一歩前進! ~ 限りない未来への挑戦 ~

 **大栄工機株式会社**

本社 〒526-0842 滋賀県長浜市春近町 90 番地 TEL 0749-64-0246 FAX 0749-63-6765

URL <http://www.daieikouki.co.jp/> E-Mail : daiei-co@minos.ocn.ne.jp

営業品目 各種鋼製型枠(セントル)の設計・製造・販売 ※詳しくはホームページを御覧ください

山岳トンネル設計の考え方

今田 徹 著
3,200 円+税 B5 判

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



続 きみの庭にも温泉が出る

石井康夫・俣野恭寛 共著
1,200 円+税 新書判

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



わかりやすいトンネルの発破技術

山田隆昭 監修
1,500 円+税 B5 判

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



建設工事の保安地質学〔改訂版〕

石井康夫 著
6,000 円+税 A5 判

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



多様化するシールド掘進技術

シールド工法技術協会 監修
2,500 円+税 B5 判

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



地質工学概論

菊地宏吉 著
4,757 円+税 B5 判

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



推進工法の理論と実際

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

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



シールドトンネルの新技术

シールドトンネルの新技术研究会 編
4,660 円+税 B5 判

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



わかりやすい土木地質学

大島洋志 監修
2,500 円+税 B5 判

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



地下水の科学 I ~ III (全 3 巻)

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

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



第 I 巻 地下水の物理と化学
4,078 円+税 B5 判

第 II 巻 地下水環境学
4,272 円+税 B5 判

第 III 巻 地下水と地質
3,689 円+税 B5 判

セグメントの新技术

小泉 淳 監修
2,000 円+税 B5 判

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



ブロック理論と岩盤工学への応用

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

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



山岳トンネルの新技术

ジオフロンテ研究会 編
14,573 円+税 B5 判

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



ジオテクスタイル設計マニュアル

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

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



岩盤地下空洞の設計と施工

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

岩盤内に地下空洞の設計を行うための地盤工学上の基本的事項について詳述した。



建設工事の地質診断と処方

石井康夫・矢嶋壯吉 共著
4,300 円+税 A5 判

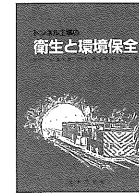
地質の基礎知識を説明して、調査・試験方法とその判断と評価について解説を加え、地すべり・斜面崩壊・山岳・都市トンネル・ダムなどの地質診断の要点を解説。



トンネル工事の衛生と環境保全

臼谷三郎・橋本康孝・友田 孝 共著
3,200 円+税 A5 判

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



岩盤の計測と解析

鈴木 光 著
4,200 円+税 A5 判

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



わかりやすいトンネル技術入門〈都市トンネル編〉

橋本定雄・松本崇義・松本正敏 共著
2,800 円+税 A5 判

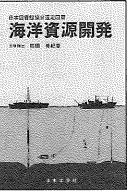
都市の代表的な地下施設である地下鉄、上水道、下水道の各トンネルについて、それぞれの主だった工法ごとに計画から施工まで実例をまじえてわかりやすく解説した。



海洋資源開発

稲田善紀 著
3,400 円+税 A5 判

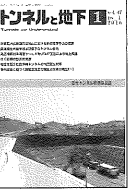
海洋の石油・天然ガス・石炭などのエネルギー資源と、マンガン・ジュールの鉱物資源、また、海洋エネルギーなどの開発と利用についてまとめた。



トンネルと地下

1,500 円+税 B5 判 月刊(毎月 1 日発売)

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



書籍のお申し込み

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

株式会社 土木工学社

〒162-0832 東京都新宿区岩戸町 16 メイジャー神楽坂
TEL: 03 3267 2888 FAX: 03 3267 2807

TKK

トンネル・地下工事で使用される 資・機材のリース・販売。 確かな技術と豊富な実績で 様々なニーズにお応えいたします。

東京機材工業は創業以来、国内外のプロジェクトにおいて資・機材の受注製作はもとより、各種多彩なリースや保守管理も担っております。ご要望や用途に応じた資・機材の検討から納品まで一貫体制をとっており、的確できめ細か、かつ迅速に対応できる体制を整えております。

主な取扱商品

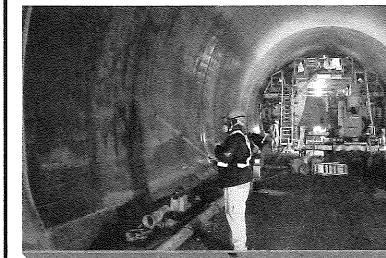
- 受注製作** 支保工材、架設架台、鋼構造物、風管 他
- リース商品** バッチャープラント、ターンテーブル、タイヤ泥落とし装置、水処理装置、配管材、汎用機材各種 他

全国7か所の機材センターから、必要なものを必要なタイミングで提供する体制を整えています。

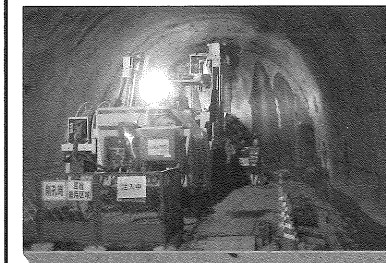


TKK 東京機材工業株式会社
<http://www.t-kizai.co.jp>

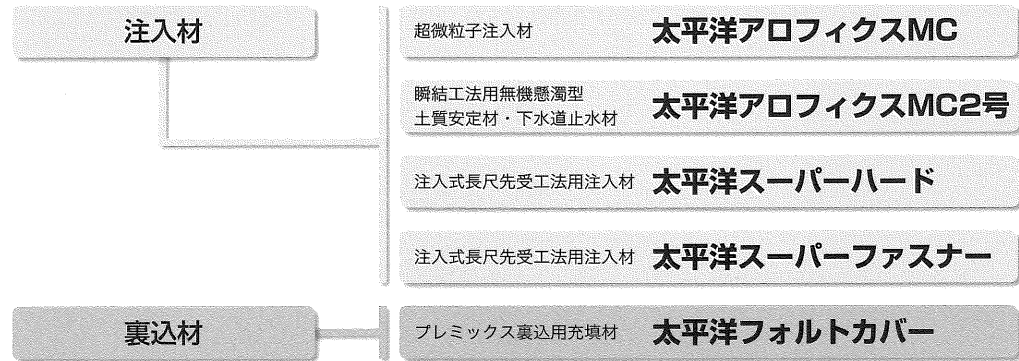
- | | | |
|--------|---|-----------------------------------|
| 本社 | 〒103-0022 東京都中央区日本橋室町1-9-12 共同ビル3階 | TEL 03-3245-1001 FAX 03-3245-0160 |
| 大阪支店 | 〒541-0042 大阪府大阪市中央区今橋3-2-20 洪庵日生ビル8階 | TEL 06-6121-6261 FAX 06-6121-6241 |
| 東北支店 | 〒980-0023 宮城県仙台市青葉区北目町1-18 ビースビル北目町4階 | TEL 022-738-7011 FAX 022-748-7881 |
| 九州支店 | 〒812-0011 福岡県福岡市博多区博多駅前2-2-1 福岡センタービル8階 | TEL 092-432-0501 FAX 092-432-0504 |
| 名古屋営業所 | 〒460-0003 愛知県名古屋市中区錦2-19-1 名古屋鴻池ビルディング13階 | TEL 052-228-6441 FAX 052-228-6442 |



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



様々な現場で力を発揮する 注入材、裏込材 “最適な選択をご提供”



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

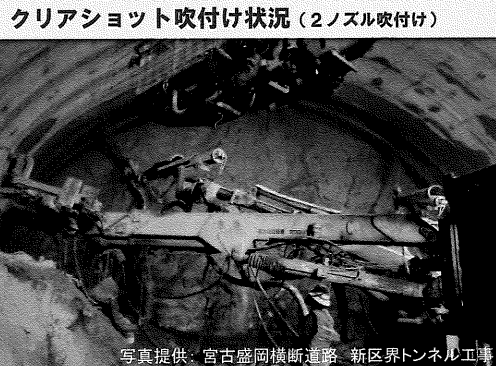
デンカのトンネル関連技術

おかげさまでデンカは昨年創立100周年を迎えました。
 私たちデンカのしごとは化学のチカラでさまざまな「できる」をつくりだすこと。
 人に、社会に、世界に貢献するものづくり企業として次の100年へと前進していきます。

デンカが誇る信頼の急結剤「デンカナトミック」

驚異の低粉じん吹付けが可能！
『デンカクリアショット工法』
 KT-080020VR

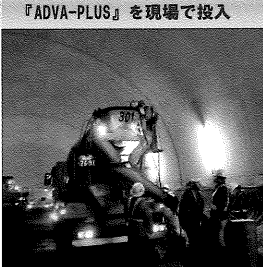
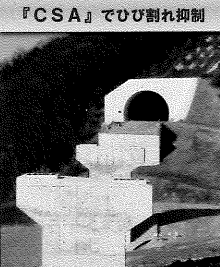
- ・ハイブリッド急結剤により、「低粉じん」と「確かな初期強度発現性」を両立！労働環境、作業性、安全性が向上！
- ・再利用可能なリターナブルコンテナを使用するため、廃棄物削減による環境負荷を低減します！
- ・付着性が高く、跳ね返りが少ない！
- ・日本国内ですでに数十本ものトンネル工事現場で採用実績のある信頼性の高い吹付け工法です！



覆工コンクリートの品質向上技術

トンネル覆工ひび割れ抑制に
『デンカパワーCSA TYPE-T』 KT-130059A

- ・トンネル専用膨張材
- ・乾燥収縮、温度ひび割れ抑制に



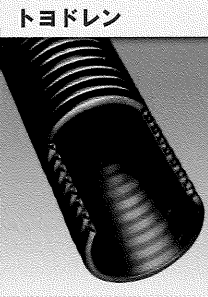
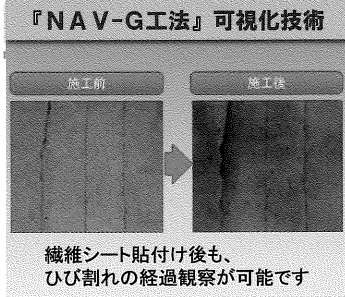
後添加型中流動コンクリート混和剤
『ADVA-PLUS』 JIS A 6204適合

- ・過大な粘性を与えることなく、分離抵抗性を向上します

その他 トンネル関連技術・製品

可視型はく落防止工法（NEXCO規格対応工法）
『NAV-G工法』 KT-100023A

- ・アクリル系樹脂の特徴である速硬化性、低温硬化性で、寒冷地、時間制限のある工事で工期の短縮が可能
- ・透明度の高いFRPを形成し、施工後も目視観察が可能



トンネル中央排水工・裏面排水工 コルゲート管
『トヨドレン』

- ・ポリエチレン樹脂製で腐食に強く耐衝撃性に優れます

できるをつくる。 **Denka**

デンカ株式会社
 東京都中央区日本橋室町2-1-1 日本橋三井タワー
 www.denka.co.jp Tel: 03-5290-5358

定価 1,620円
 本体価格1,500円

雑誌06619-7



4910066190767
 01500