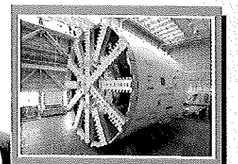
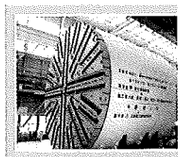
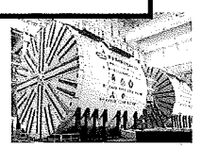
トンネル開発技術に
60余年のヒストリー。


2006
〈ドバイLRT用シールド〉
ドバイの交通網の発展に貢献


2004
〈大断面SENS工法シールド〉
東北新幹線三本木原トンネル
工事の建設で活躍


2003
〈超大断面・大深度・長距離掘削用シールド〉
神田川・環状七号線地下調整池
の建設で活躍


1995
〈3心円泥水式駅シールド〉
地下鉄12号線環状部飯田橋駅
工区建設工事で活躍


1993
〈世界最大級の泥水式シールド〉
東京湾横断道路工事で活躍


1989
英仏海峡トンネルT-5工区貫通式
完成にわく関係者たち


（交通新聞提供）
1939
〈日本最初の本格的シールド〉
関門トンネル工事で活躍

世界中で
1677台の
実績！

昭和14年（1939年）我が国初の本格的シールド式トンネル掘削機を開発して以来、三菱重工はトンネル開発技術のパイオニアとして60余年にわたり国内や海外で数多くの実績を築いてきました。
豊かな21世紀を育むために、三菱は最先端のジオテクノロジーでさらに前進しています。

※平成19年4月1日より、三菱重工のトンネル事業は三菱重工地中建機株式会社として生まれ変わりました。

三菱重工地中建機（株）のシールド式トンネル掘削技術

三菱重工地中建機株式会社　本　　社　明石市二見町南二見1番地　TEL.078-672-4575
東京事務所　東京都港区港南二丁目16番5号　TEL.03-6716-4092
神戸事務所　神戸市兵庫区和田宮通七丁目1番14号　TEL.078-672-2850

定価 1,575円
本体価格1,500円
雑誌06619-10
4910066191085
01500

10
458号
トンネルと地下
JTA
1
KR

昭和45年11月18日第3種郵便物認可　平成20年10月1日発行（毎月1回1日発行）　第39巻第10号　通巻458号　ISSN 0285-631X

トンネルと地下 10

vol. 39
no. 10
2008

Tunnels and Underground

小土かぶり・帯水土砂地山トンネルの各種補助工法（その1）
中央構造線擾乱帯を貫く
四つ橋線直下のシールド掘進と上部連絡通路の施工
供用中の下水道管渠への側面地中接合
重金属などを含む掘削残土の分別処理方法

日本トンネル技術協会誌

●中央構造線擾乱帯を貫く

vol. 39 no. 10 2008

技術提案に好適!!
デンカの特殊混和材

信頼の品質

デンカの酸性液体急結剤
初期強度発現がバツグン

《デンカクリアショット》

酸性液体急結剤 **デンカナトミックLSA**
粉体助剤 **デンカナトミックUSS**

・脅威の低粉じん吹付けが可能
・確かな初期強度、長期強度発現性
・付着性が大きく、跳ね返りが少ない
・粉体急結剤と同様の吹付け性状
・湧水、低温にも強い

優れた低粉じん吹付け

《デンカスラリーショット》

デンカナトミックUS-32
デンカナトミックUS-50

《粉じん低減剤》
デンカクリアップ2

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

実績の粉体急結剤

一般吹付け・高品質吹付け
デンカナトミックTYPE-5
高強度吹付け
デンカナトミックTYPE-10
瞬結吹付け・初期高強度吹付け
デンカナトミックTYPE-10S
デンカΣショットS

・安定した初期強度・長期強度発現性
・付着性が大きく、跳ね返りが少ない

覆工コンクリート
ひび割れ抑制・耐久性向上

コンクリート用膨張材
デンカパワーCSA
有機無機複合型被膜養生剤
デンカクラッコフ
コンクリート補強用合成繊維
STRUX 85/50

・高品質な覆工コンクリートが得られます

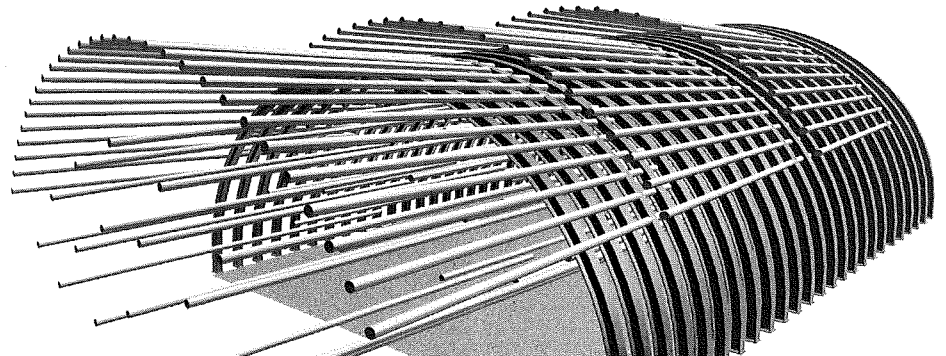
◆トンネル関連製品
・デンカPFモルタル，PFモルタルTYPE-K･･･小断面・TBM用吹付けモルタル
・デンカライフセッター･･･吹付けコンクリート用凝結調整剤
・FTN-30･･･吹付けコンクリート用高性能減水剤
・デンカES／ES-L･･･無公害なセメント系土質安定用急硬材
・デンカコロイダルセメント／コロイダルスーパー･･･微粒子，超微粒子セメント
・デンカPモル･･･注入式ロックボルト定着材
・デンカCG-1000，CG-2000･･･可塑性モルタル用混和材

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

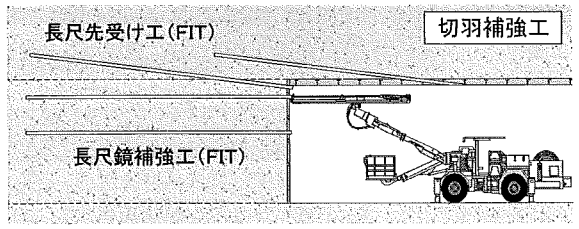
全方位 GFRP 管長尺補強システム

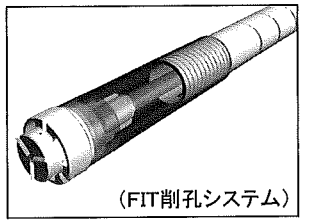
NETIS登録
(No. CB-030065)
施工実績 150 件以上

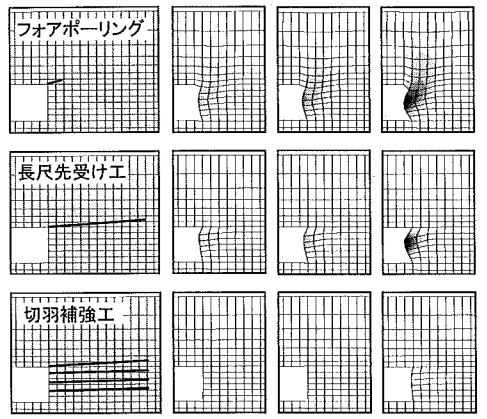
FIT 工法
FRP INJECTION TUBE



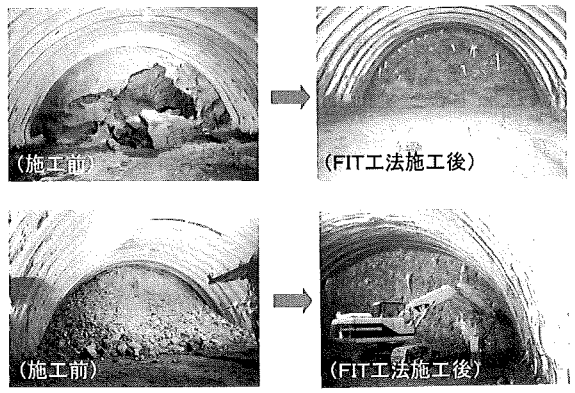
最も効果的な「掘削断面内からの切羽前方地山補強」




(FIT削孔システム)



(数値解析による切羽補強効果の検証例)



KFC 株式会社 ケー・エフ・シー
東京土木営業部 TEL(03) 3570-5223 FAX(03) 3570-5233
大阪土木営業部 TEL(06) 6363-1884 FAX(06) 6313-0755
札幌支店 TEL(011) 751-4681 FAX(011) 751-4682
ホームページ http://www.kfc-net.co.jp/

FURUKAWA
ROCK DRILL

FRD FURUKAWA

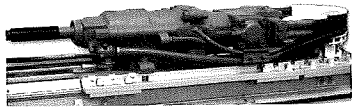
様々なトンネル工事に挑戦し、実績を積み重ねてきた各種製品と全国に広がる安心のサービス網でお客様をバックアップします。

ホイール式ドリルジャンボ

JTH2200R/3200R

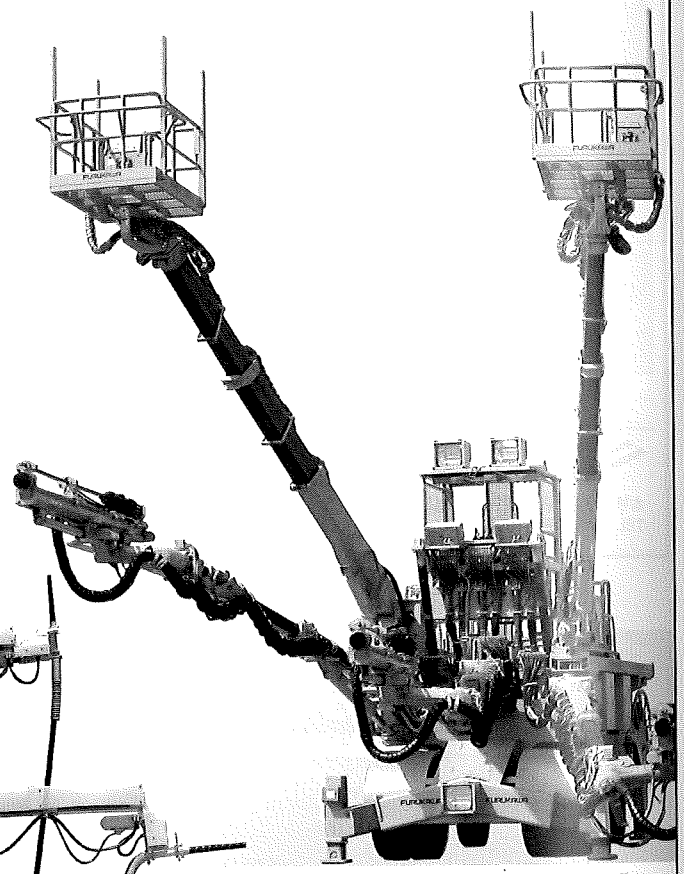
新幹線・道路・水路等の全断面および補助ベンチ工法のトンネルさく孔に威力を発揮します。

新世代型油圧ドリフタHD210II搭載。



◆主な仕様

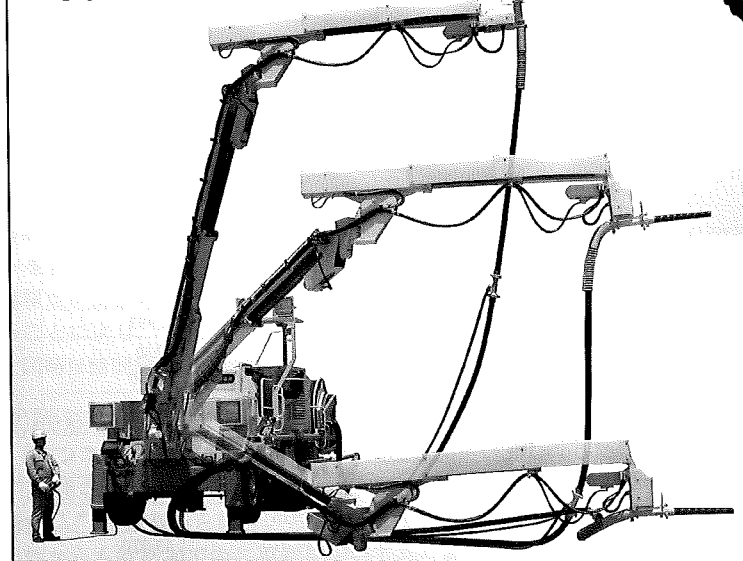
	JTH2200R 2ブーム、2ケージ	JTH3200R 3ブーム、2ケージ
質　量	35.5トン	43トン
全　長	14,270mm	14,760mm
全　幅	2,690mm	3,140mm
全　高	5,940mm	6,010mm
水平さく孔範囲		
幅	12.77m	13.22m
高　さ	8.49m	8.84m



JTH3200R

コンクリート吹付け機（コンプレッサ搭載型）

CJM2200E-III



写真は吹付け姿勢の合成写真です。

◆CJM2200E−III 主な仕様

質　量	24トン
全　長	15,600mm
全　幅	3,000mm
全　高	4,000mm
水平吹付け範囲	
高さ × 幅	10m×13.3m

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

古河機械金属グループ

FRD FURUKAWA 古河ロックドリル株式会社 http://www.furukawarockdrill.co.jp/

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

札幌支店 011-861-3261　東北支店 022-384-8991　関東支店 027-326-9611　名古屋支店 0568-77-7700

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

soilmec

Drilling and Foundation Equipment

TREVIGroup

ソイルメック多目的油圧削孔機 SM-401のご紹介

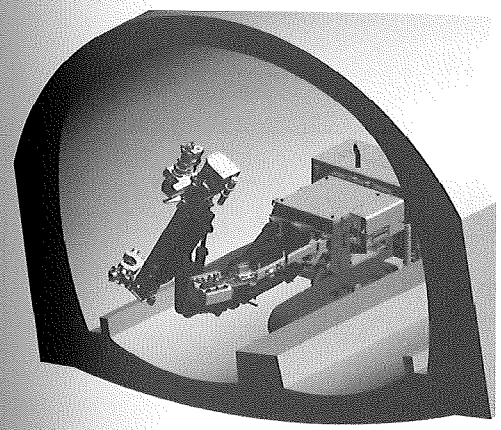


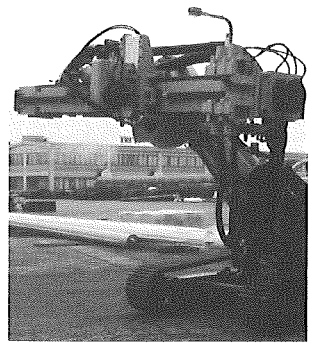
マイクロパイル、アンカー、ジェットグラウト、コア採集、ドレーン、井戸掘削、など様々な施工現場に対応可能な多目的油圧削孔機械であるSM401

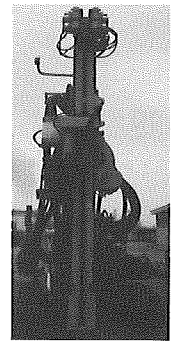
世界中でベストセラーとなっているこのSM401のもうひとつの顔として、ショートマストバージョンがあります

このショートマスト仕様により、狭いトンネルの中でも削孔可能。SM401の万能性を証明しております。
（現場に応じたロッド長〈1−2m〉を選択可能）

是非、御社の施工マシンとしてご検討ください！









ソイルメックジャパン株式会社

〒103-0024　東京都中央区日本橋小舟町3-12 サンバードビル3F

TEL:(03)5643-1271　FAX:(03)3664-6451

トンネルと地下　10月号目次　Vol.39, No.10, 2008 Oct.

CONTENTS CONTENTS CONTENTS CONTENTS CONTENTS CONTENTS

■巻　頭　言

山岳トンネル技術への思い
熊谷紳一郎……5

■研　　究

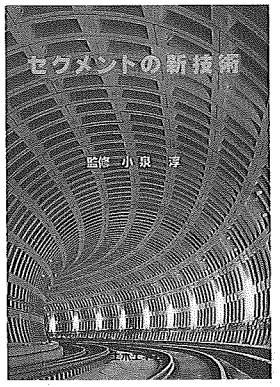
重金属などを含む掘削残土の分別処理方法
服部　修一・太田　岳洋……51

■施　　工

小土かぶり・帯水土砂地山トンネルの各種補助工法（その１）
―東北新幹線　八戸・七戸間トンネル群―
田村栄二郎・松長　　剛……7

中央構造線擾乱帯を貫く
―三遠南信自動車道　三遠トンネル―
秋田　　修・真弓　英大・玉井　昭雄・岡山　　徹……17

四つ橋線直下のシールド掘進と上部連絡通路の施工
―中之島線　第３工区―
西村　幹夫・定藤誠一郎・山下　　剛・天野　健次……31



セグメントの新技術

監修　小泉　淳

Ｂ５判　132頁　本体価格 2,000円　〒290円

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

CONTENTS CONTENTS CONTENTS CONTENTS CONTENTS CONTENTS

供用中の下水道管渠への側面地中接合
―江戸川左岸流域下水道シールド工事（市川幹線701工区）―
三室　賢治・田代　良守・角田　繁俊・守屋　洋一……43

■連 載 講 座

山岳トンネル先進ボーリング入門（２）
―ボーリング機器とその性能（１）―
山岳トンネル先進ボーリング連載講座小委員会……63

■現場だより

「手つかずの山と川のあるふれあいの里」いわき市三和町より
髙野　浩司……30

■資　　料

トンネル千夜一夜（46）
小野田　滋……28

トンネルジャーナル
編　集　部……62

土木情報
編　集　部……42

工法・技術・製品ニュース
編　集　部……74

■会　　報

会　報
日本トンネル技術協会……75

【表紙説明】

中央構造線擾乱帯を貫く
―三遠南信自動車道　三遠トンネル―



三遠トンネルは，三遠南信自動車道のうち，愛知県と静岡県の県境に位置する延長4,525mのトンネルである．本トンネルが通過する地域は，中央構造線が東西に走り北側の細川断層と南側の中央構造線主断層の２本に分岐する特異な箇所である．工事は，この２本の断層の間にある中央構造線擾乱帯と呼ばれる年代や形成過程の異なる地質が断層に揉み込まれるように分布箇所を貫くものである．

写真は，本坑早期断面閉合状況である．　〔**写真提供**：国土交通省〕（本文17頁参照）

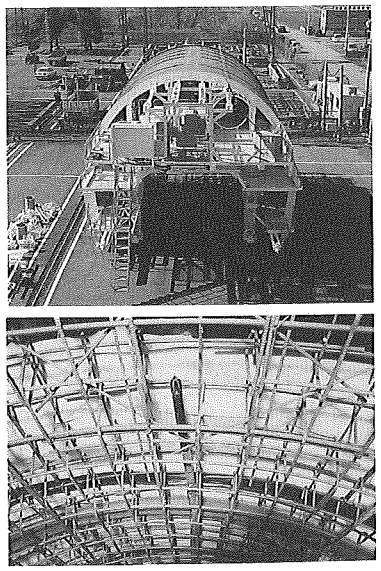
高品質なトンネル覆工に挑む

高品質なトンネル覆工を実現する
引抜バイブレータ締固システム

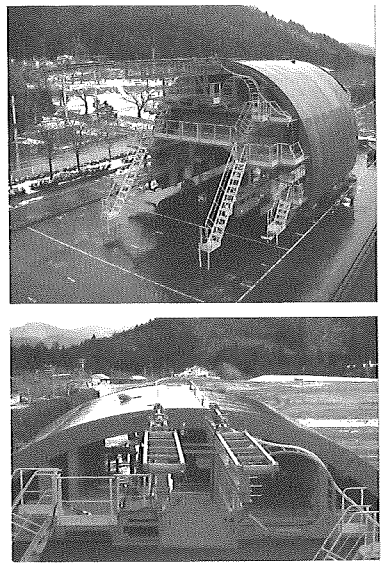
トンネルの二次覆工コンクリートには、トンネルクラウン部の締固め方法に課題があり、結果として漏水や空隙の発生など、覆工コンクリートの品質に問題が生じるケースがありました。また、覆工コンクリートの締固め作業は、狭隘部での苦渋作業という問題もあります。そこで、引抜バイブレータ締固めシステムを用いることにより、上記の課題を克服し、高品質な覆工コンクリートの構築を可能としました。

【特許出願中】

ホースバイブ巻取り式



パイプバイブ伸縮式



特願　2000-073694・2002-329301・2004-021814・2004-021817

効果・特徴

1. 覆工コンクリートの品質が向上する。
2. トンネルクラウン部の締固めが省力化できる。
3. 作業環境が改善でき、狭隘なヶ所での作業が無くなります。
4. 鉄筋、無筋区間での共用が可能で、経済性に富んでいます。

GIFU KOGYO

岐阜工業株式会社

GIFU KOGYO CO.,LTD

本　　社　岐阜県本巣市十四条１４４番地　〒501-0464
本社工場　TEL (058)323-2000㈹　FAX (058)323-1176

本社営業部　(058)323-2001
東 京 支店　(03)5836-0531
仙台営業所　(022)259-2239
九州営業所　(092)713-5265

URL http://www.gifukogyo.co.jp/

総務委員会広報小委員会会誌WGの構成（五十音順・敬称略）

〔主　　査〕

大　島　洋　志　　国際航業株式会社上席フェロー技術センター長

〔幹　　事〕

池　田　豊　人
国土交通省大臣官房技術調査課技術企画官

大　石　敬　司
東京地下鉄株式会社建設部工事課課長

久多羅木　吉治
東亜建設工業株式会社土木事業本部技術部長

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

高　瀬　昭　雄
独立行政法人鉄道建設・運輸施設整備支援機構
鉄道建設本部計画部計画課長

千　葉　　隆
清水建設株式会社土木技術本部
地下空間統括部部長

長　島　芳　雄
株式会社竹中土木常務取締役

濱　　建　介
株式会社アオバ取締役会長

福　家　佳　則
鹿島建設株式会社土木管理本部土木工務部
トンネルグループ長

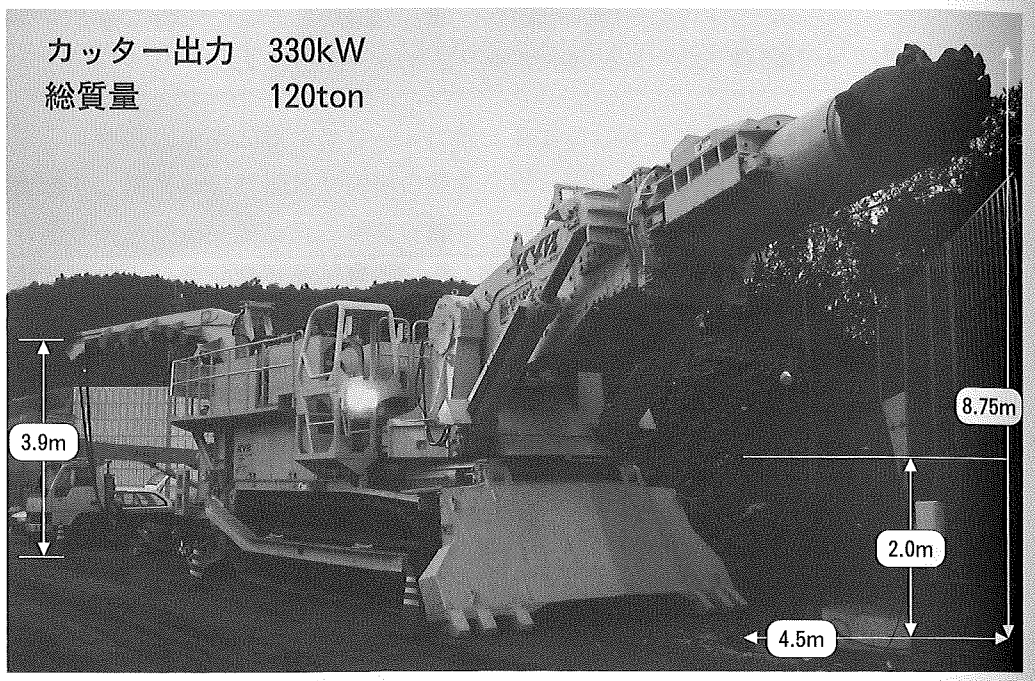
松　原　利　之
飛島建設株式会社土木事業本部技術統括部
トンネル技術グループ部長

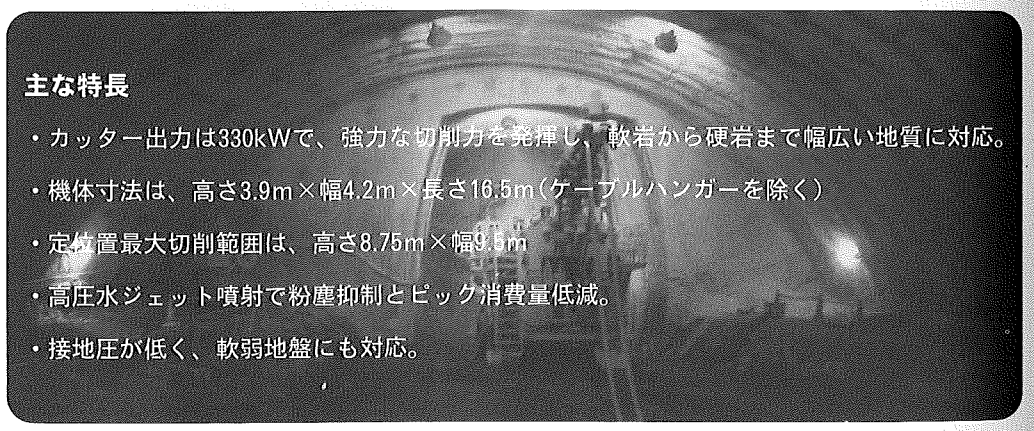
山　道　哲　二
株式会社大林組東京本社生産技術本部
統括部長

領　家　邦　泰
大成建設株式会社土木本部土木技術部
トンネル技術室部長

ミニベンチ工法 両用型 ショートベンチ工法

RH-10J-SS 強力型ブームヘッダー





主な特長

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

KYB カヤバ システム マシナリー株式会社
KAYABA SYSTEM MACHINERY CO.,LTD.
http://www.kyb-ksm.co.jp
(旧社名: ㊀日本鉱機㈱式会社)

本社・営業 カスタマーサービス 〒105-0012 東京都港区芝大門2丁目5番5号 住友不動産芝大門ビル TEL 03-5733-9444
中部支店 〒514-0396 三重県津市雲出鋼管町62番地2 TEL 059-234-4139
西部支店 〒812-0013 福岡県福岡市博多区博多駅東2丁目6番26号 安川産業ビル TEL 092-411-4998
三重工場 〒514-0396 三重県津市雲出鋼管町62番地2 TEL 059-234-4111

編集委員会の構成 (五十音順・敬称略)

〔編集委員長〕

大島洋志　国際航業株式会社上席フェロー技術センター長

〔編集参与〕

今田　徹
東京都立大学名誉教授

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

高橋良文
東京都下水道サービス(株)管路部長

橋本定雄
(元)東京都公営企業管理者下水道局長

濱　建介
株式会社アオバ取締役会長

〔委員〕

木谷日出男
財団法人鉄道総合技術研究所
防災技術研究部部長

佐山順二
東京電力株式会社電力流通本部工務部
設備渉外・調整グループ課長

清水　満
東日本旅客鉄道株式会社東京工事事務所
立体交差課長

城間博通
株式会社高速道路総合技術研究所
道路研究部トンネル研究担当部長

田村聡志
東京都水道局建設部工務課長

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

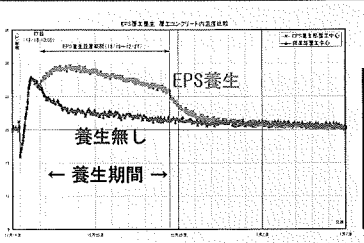
西村　聡
東京地下鉄株式会社鉄道本部改良建設部
第二工事事務所所長

野邑敏行
東京都交通局建設工務部計画改良課長

畏岩滋之
東京都下水道局建設部設計調整課長

真下英人
独立行政法人土木研究所
道路技術研究グループ長





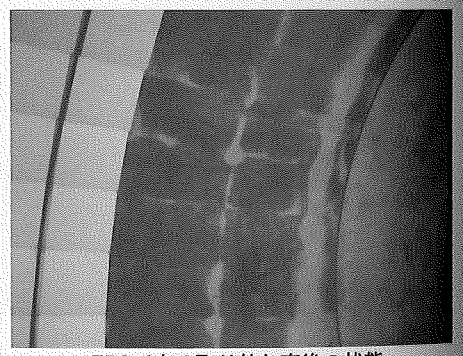
温度測定結果

	養生無し	EPS養生
反発度（平均）	33.8	36.3
推定強度 N/mm²	24.9	28.1
強度比	1.0	1.13

強度測定結果
（シュミットハンマー）

実績および計画

施主	実績	計画中
国土交通省	1	3
NEXCO	2	1
地方自治体		3


EPSパネル取り外し直後の状態

●温度測定結果より、保温養生効果を確認。

●シュミットハンマーテスト（材令28日）の結果より、強度の増進を確認。
保温・保湿養生の効果。

●弾性波レーダーによる鋼球接触時間測定結果より、表層の硬さ（弾性係数）の増大を確認。
表面の乾燥収縮ひび割れに対する抵抗性の増大。

FUDOTETRA
株式会社 不動テトラ
建設本部
〒103-0016　東京都中央区日本橋小網町７番２号
TEL　03-5644-5025　　FAX　03-5644-8576

特許登録番号第3977849号

大栄工機株式会社
〒526-0842　滋賀県長浜市春近町90番地
TEL　0749-64-0246　　FAX　0749-63-6765
【営業品目】
各種鋼製型枠（セントル）の設計・製造・販売
トンネル用機材一般/土木資材の販売
鋼製支保工の製造販売

実施権許諾第10396号

QJ 01466/ISO 9001:2000

トンネルと地下　VOL. 39　No. 10　掲載概要

掲載頁 7

小土かぶり・帯水土砂地山トンネルの各種補助工法（その１）
—東北新幹線　八戸・七戸間トンネル群—

鉄道・運輸機構　田村栄二郎

東北新幹線八戸・七戸間の13本のトンネルでは，対象となる地質が未固結な砂質土と粘性土が主体であったため，切羽における自立性の低下や緩み領域の増加，地表部への影響，地下水の変化などが問題であった．東北新幹線八戸・七戸間トンネル群において，切羽安定および沈下抑制を目的として採用された掘削工法や補助工法について，各工法の特徴や施工で確認された対策効果，今後の工法選定に向けた留意点などについて３回にわたって報告する．

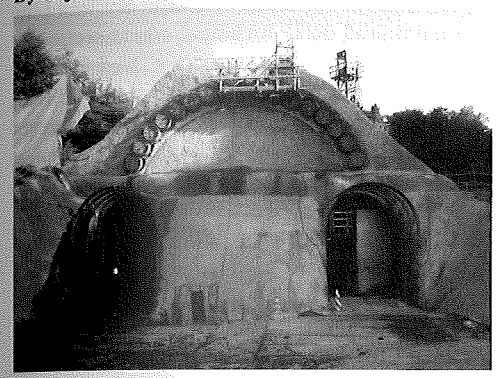
本稿（１回目）では，天端の補強を目的とした「圧入式短尺鋼管先受け工法」，「鋼管鋼矢板圧入打撃工法（SSPB工法）」，「パイプルーフ」について報告する．

Auxiliary Methods for Earth Tunnel in Aquifer with Small Cover (1)—Tunnels between Hachinohe and Shichinohe, Tohoku Shinkansen—

By Eijiro Tamura, Japan Railway Construction, Transport and Technology Agency

The 13 tunnels between Hachinohe and Shichinohe on the Tohoku Shinkansen which were constructed in unconsolidated sandy or cohesive ground had issues such as decline in face stability, extension of loosen zone, effects on surface and changes in characteristics of underground water. This series of 3 reports gives information such as excavation and auxiliary methods employed with the aim of stabilizing faces and controlling deformation in these tunnels, the specification and effects of each method as well as notes for future selection of methods.

This report (1/3) contains information on “Press-fit Short Steel Pipe Forepoling Method”, “Steel-pipe Sheetpile Press-fit Blow Method (SSPB Method)” and “pipe roof” with the aim of reinforcing crown.


写真は市川トンネル側壁導坑掘削時

掲載頁 17

中央構造線擾乱帯を貫く
—三遠南信自動車道　三遠トンネル—

国土交通省　秋田　　修

三遠トンネル（仮称）は，三遠南信自動車道（長野県飯田市～静岡県浜松市：延長約100km）のうち，三遠道路（延長約21km）の愛知県と静岡県の県境に位置する延長4,525mのトンネルである．本トンネルが通過する地域は，中央構造線が東西に走り北側の細川断層と南側の中央構造線主断層の２本に分岐する特異な箇所である．この２本の断層の間は，中央構造線擾乱帯と呼ばれ，年代や形成過程の異なる地質が断層に揉み込まれるように分布している．本トンネルは，この中央構造線擾乱帯を貫く工事である．

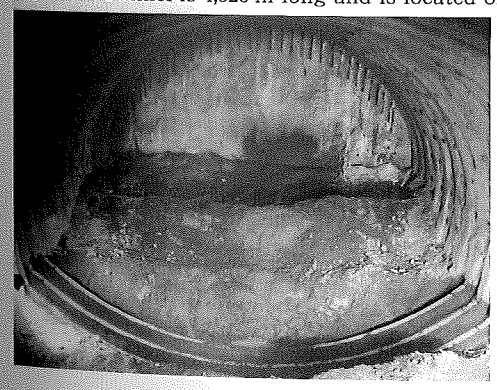
本稿では，中央構造線擾乱帯部の地質および施工状況とトンネル挙動特性について報告するものである．

Penetrate through Disturbance Zone in Median Tectonic Line—San-en Tunnel, San-en Nanshin Expressway—

By Osamu Akita, Ministry of Land, Infrastructure Transport and Tourism

San-en Tunnel is 4,525 m long and is located on the border of Aichi and Shizuoka Prefectures on the San-en Nanshin Expressway (from Iida City, Nagano Prefecture to Hamamatsu City, Shizuoka Prefecture: approx. 100 km). The area through which this tunnel passes is unique points where a Median Tectonic Line which runs from east to west diverges into the Hosokawa fault of the north and the Median Tectonic Line main fault of the south. The area between these 2 faults is called a Median Tectonic Line disturbance zone and stratums differing in period and formation process are distributed disorderly. This project is a construction of tunnel that penetrate through this Median Tectonic Line disturbance zone.

This report gives information on the geological features in the Median Tectonic Line disturbance zone, construction results and behaviour of ground.


写真は本坑早期断面閉合状況

掲載頁 31

四つ橋線直下のシールド掘進と上部連絡通路の施工
—中之島線　第３工区—

中之島高速鉄道(株)　西村　幹夫

本工事は，渡辺橋駅構築後にシールド(φ6,850)を発進し，約35m程度のところに位置する地下鉄四つ橋線の下部(離隔約1.8m)を通過し，その後他工区でUターンして渡辺橋へ戻るため，再度四つ橋線下部を通過(シールド双設約1.2m)するものである．さらに，シールド工事完了後，渡部橋駅と四つ橋線上部に存在する地下街を接続するため，四つ橋線の上部を開削工法で掘削した．このように，地下鉄四つ橋線の下部をシールドで，その後上部を開削で掘削するため，地下鉄には沈下や隆起という変動が発生する．

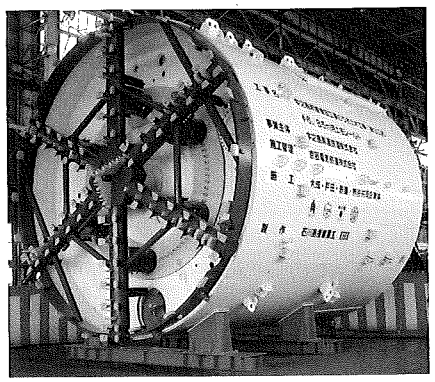
本稿では，事前にFEM解析を行い列車走行性に配慮した管理値を設定し，情報化施工のもと無事工事を完了することができたので報告する．

Shield Excavation beneath Yotsubashi Line and Construction of Connecting Passage above It—3rd Section, Nakanoshima Line

By Mikio Nishimura, Nakanoshima High Speed Railway Company

In this construction a shield (φ6,850) started excavation after the completion of Watanabebashi Station, passed through beneath approx. 1.8m of Yotsubashi Subway Line at 35m from launch point, and do U-turn at the next section in order to return to Watanabebashi and it again passed (approx. 1.2m interval of these tunnels) through beneth it. In addition, after the completion of shield tunnels, in order to connect Watanabebashi Station to the existing underground shopping centre in the upper part of the Yotsubashi Line, excavation above the Yotsubashi Line was conducted using the cut-and-cover method. In this way, displacement of structures of Yotsubashi Subway would occurre because of the excavation under and over the Yotsubashi Line.

This report gives information to configure control values for running safty by conducting FEM analysis in advance and safely construct under computerized construction management.



写真はシールド全景

掲載頁 43

供用中の下水道管渠への側面地中接合
—江戸川左岸流域下水道シールド工事(市川幹線701工区)—

千葉県　三室　賢治

江戸川左岸流域下水道における市川幹線は，市川市，船橋市および鎌ヶ谷市の３市の汚水が流入する幹線管渠で，全体工事延長は約10.8kmである．このうち，市川幹線701工区は，市川幹線の最下流部に位置し，既設の江戸川幹線(内径4,750㎜)の地下約8.5m地点へ流入する新設の汚水幹線工事である．既設管への接合地点は，交通量の非常に多い幹線道路の交差点内にあり，さらに地下埋設物も多いことから，到達立坑の築造は困難であった．そのため，地上からの施工は一切行わない側面地中接合によって直接既設管へ接合する方法を採用することとした．

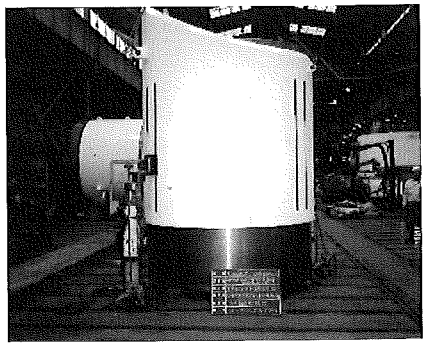
本稿は，接合用押し出しフードを搭載したシールドによる側面地中接合の施工事例を報告するものである．

Connect New Sewage to the side of Sewage Conduit In-service —Shield Construction of Sewage in East Area of Edogawa (Ichikawa Sewage Main Section 701) —

By Kenji Mimuro, Chiba Prefecture

The Ichikawa sewage main in the Edogawa east side is a sewer into which sanitary wastewater from the 3 cities of Ichikawa, Funabashi and Kamagaya flows and the total length of the construction is 10.8 km. Ichikawa sewage main Section 701 is new line positioned at the lowest part of all line and connects to the existing Edogawa sewage main (internal diameter: 4,750 mm) under 8.5 m in depth. The point of connection is under the intersection of a trunk road which has an extremely high traffic, and further, as there are many underground installations, it was difficult to construct the arriving shaft. For this reason, we employed the method of connecting directly to the side of the existing conduit in underground without works from above ground.

This report is an example of work of this method using a shield with a built-in pushing hood for connecting.



写真は押し出しフード部製作状況

掲載頁 51

重金属などを含む掘削残土の分別処理方法

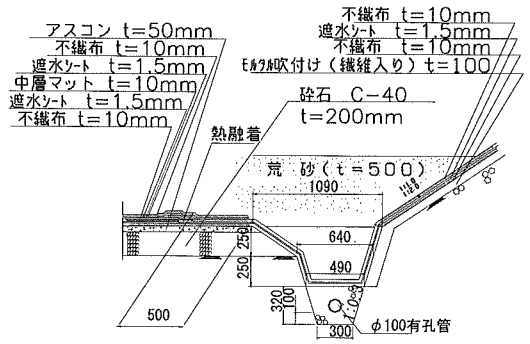
鉄道・運輸機構　服部　修一

日本各地の鉱山跡地で，有害元素を含む浸出水による河川などの汚染が問題となっている．近年土木工事においても重金属などの溶出が問題となった事例が報告され，2003年２月の土壌汚染対策法(土対法)施行後は掘削残土についても同法に準拠した対策が求められるようになった．八甲田トンネルでは土対法施行以前から，掘削残土からの酸性水と重金属の溶出に関する評価と対策を行い，土捨場からの浸出水水質のモニタリングを実施した．モニタリング結果から，八甲田トンネルにおける掘削残土の判定法と処理法は適切であったが，過大であった可能性も考えられる．そこで，今後の掘削残土の判定法として，岩石学的・鉱物学的特徴にもとづいた溶出特性を，現地の地質・水文環境，水利用状況を勘案した基準で評価することを提案した．処理法としては，覆土による土捨場内部の還元化の効果や吸着層工法に関する検討が必要であることを示した．

Study on Segregated Disposal Method for Rock Muck including Toxic Substance

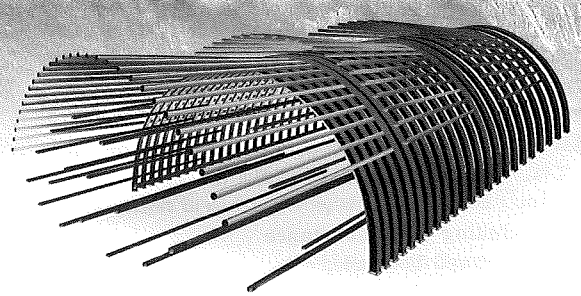
By Shuichi Hattori, Japan Railway Construction, Transport and Technology Agency

The pollution of surface/ground water caused by the inflow of acid water including heavy metals poses serious environmental problems around the mine areas and excavation sites. At excavation site, planners and proprietors are forced to take prompt measure for rock muck disposal following the soil contamination countermeasures law. At excavation of the Hakkouda Tunnel, we executed the evaluation and measures concerning the extract of acid water and heavy metals from rock muck, and monitored the water quality of drainage from the disposal site. The results of monitoring suggest that the methods of evaluation and the measures for rock muck disposal are slightly overabundant. Therefore, we propose judging the rock muck based on lithology and mineralogy of rock muck. It seems that the judging standards must be considering the geology, the hydrogeology and the water usage around the excavation site. In addition, it is necessary to examine the effects of reduction and absorption in soil layer over and under the disposal site in order to design the structure.



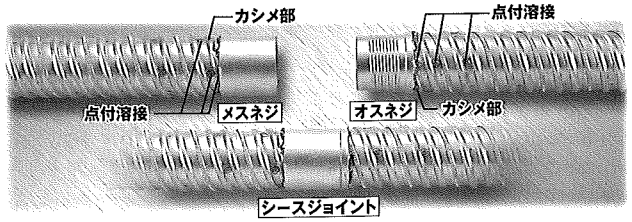
図は管理型土捨場底部および側部の遮水層構造

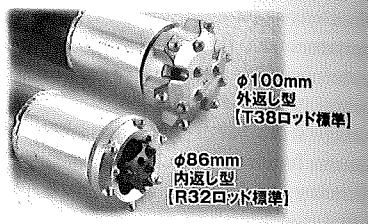
ユニークな発想と高品質・自信の価格



FIXチューブ工法

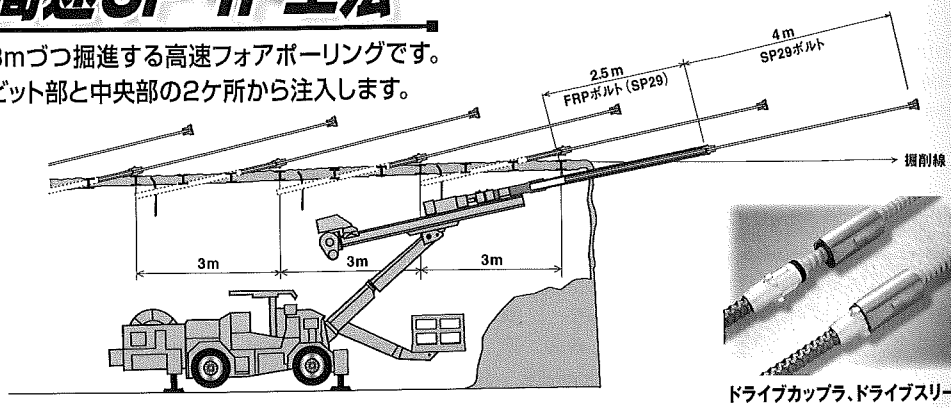
※天端にφ76.3長尺鋼管、鏡部に連続突起を有する長尺鋼製シースを引込み薄肉鋼管を挿入して注入。周辺地山にしっかりと"FIX"します。

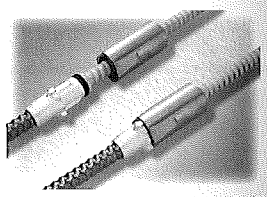




高速SP-IF工法

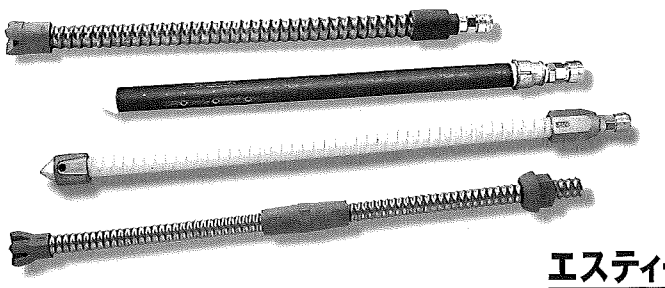
※3mづつ掘進する高速フォアポーリングです。
ビット部と中央部の2ケ所から注入します。

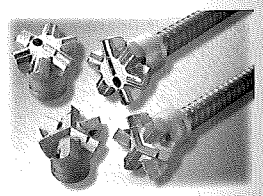




ドライブカップラ、ドライブスリーブ

自穿孔ボルト&注入管





φ65mm ロストビット(SP29)

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

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

巻頭言
（題字　小森　博会長）



山岳トンネル技術への思い

三井住友建設(株)常務執行役員土木管理本部長(本協会理事)
熊谷紳一郎

若いころ，PC橋などのコンクリート構造の設計・施工に携わってきた技術者，いわゆる"構造屋"の目から見た山岳トンネル技術について，思うところを述べます．

山間部を通る道路や鉄道において，谷を跨ぐ橋梁と山を貫くトンネルは，同じ路線の隣り合う土木構造物であるものの，その設計手法や施工方法などの考え方が若干異なるようです．

私が若くて血気盛んなころ，社内のトンネル技術者に「なぜ地山の強度に関係なく，坑口部はすべて吹付け厚さが25cmとなっているのか」，「覆工コンクリートの厚さを30cmとしている力学的な理由は何なのか」など，支保パターンという標準設計を適用する手法を主とするトンネルの設計や施工に関して素朴な疑問を感じ，議論したものでした．そのトンネル技術者は，「トンネルは経験工学なので，従来からの支保パターンで設計することが結果的に安全で合理的である」，「地山は必ずしも一様でないため，構造物などのように解析的手法により設計することが難しい」，などと答えていたことを思い出します．力学的にもっとわかりやすく説明して欲しいところでしたが，「経験工学のトンネル」に関する議論はいつも平行線で終わっていたように記憶しています．

PC橋などにおいて，新しい構造形式やこれまでにない長大支間の構造を設計する場合は，数値解析や実験などを駆使することによって，かなり高い精度で構造の成立性，信頼性，安全性などを事前に確認することが可能です．一方，山岳トンネルの場合は，とくに断層や破砕帯などの地山の不連続性などが事前調査による予測，精度の高い解析を難しくしているように思われます．膨脹性地山や突発的な湧水など，予測や解析が困難な幾多の悪条件下においても，切羽の状況を的確に把握して当初設計を修正し，豊富な経験と知識で見事に克服してきたトンネル技術者に対し，あらためて敬意を表する次第です．しかし，その反面，本来は事前調査や当初設計がより重視されるべきですが，設計変更が優先されてきた感があり，

今後，より信頼性の高い当初設計が実現されることが必要だと考えます．

2年余り前から国土交通省などでは総合評価落札方式が本格的に導入され，トンネル工事の入札においても「覆工コンクリートの品質向上，耐久性向上」や「濁水処理対策」などを評価項目とする総合評価案件が多くなっています．これまでトンネル技術者は，難しい地山を相手に，いかに変位を抑えて進行を確保することができるか，いかにうまく掘ることができるかを考え，貫通まで寝食を惜しんで立ち向かってきました．その一方，「覆工コンクリートは化粧巻き」，「無筋コンクリートにひび割れが入るのは仕方がない」などと言われるような昔ながらの感覚が少なからず残っており，覆工コンクリートなどの品質に対して必ずしも十分に注力してこなかったことは否めません．これからのトンネル技術者は，地山という強敵を相手にすることに加えて，覆工コンクリート完了まで気を休めることなく，品質を確保していく必要があり，これまで以上に品質に注力した技術の発展を期待します．

最近，世の中の品質に対する要求がますます高まる中，耐震偽装問題や食品偽装問題など，品質にかかわるさまざまな問題が頻発しています．品質を守る立場の技術者がむしろその専門知識を使ってこれらの問題に関与した事例もあり，ごく一部の技術者の倫理感の低下が招いた問題は嘆かわしい限りです．今後ますます技術が高度化していく中で，技術者に課せられる品質に対する責任はさらに重くなっていくと思われます．トンネル技術者をはじめとするわれわれ技術者が高い意識を持つことによって，品質問題の多くは未然に防ぐことができ，建設業に対する世間の信頼が高まると確信しています．

橋梁では，100年橋梁あるいはそれ以上というように，これまで以上に長期の耐久性や品質確保を視野にいれた研究・開発が進められようとしています．一つの路線を考えた場合，橋梁やトンネルなどの道路構造物が同様の要求性能を満足しなければ，ライフラインとしての機能が確保されません．両者では設計手法や施工方法などの考え方が異なる部分がありますが，トンネル坑口部と橋梁の一体化など，今後は両者の特徴を生かした設計や施工がますます増えてくると思われます．発注者，ひいては社会の要求性能を満足すべく信頼性，確実性の高い設計と施工に関して情報交換し，より合理的で品質の高いインフラを創っていきたいと思っています．

施工

小土かぶり・帯水土砂地山トンネルの各種補助工法（その１）

—東北新幹線　八戸・七戸間トンネル群—

鉄道・運輸機構東北新幹線建設局次長　田　村　栄二郎
パシフィックコンサルタンツ(株)交通技術本部トンネル部マネジメントチームリーダー　松　長　　剛

1　はじめに

東北新幹線八戸・新青森間のうち，青森県東部の上北丘陵地に位置する八戸・七戸間のトンネル群(13本：合計延長17.9km)は，**表-1**に示すように延長の約80％が20m以下の小土かぶりである．路線が標高20～70mの海成段丘群を通過しており，既設の鉄道，道路，河川などと立体交差させるため，台地上を高架構造にすると谷部における橋脚が極端に高くなり不経済となるとともに，冬季の雪害対策の面で不利となる．そのため，台地部はトンネル構造として既設構造物の下部を通過し，谷部は適当な空頭を確保した橋梁でその上空を通過する縦断線形が有利と判断したものである．

表-1　東北新幹線八戸・七戸間におけるトンネル

トンネル名称	全延長(m)	土かぶり20m以下の延長(m)	主な地表構造物
南部山	267	170	スケートリンク
高館	1,280	1,280	国道45号
市川	925	925	国道45号，百石自動車道
五戸	1,090	430	
錦ヶ丘	1,370	1,370	
館野	780	780	主要地方道
柴山	920	920	
六戸	3,810	3,810	主要地方道，十和田観光電鉄，三本木幹線用水路，県道
三本木原	4,280	1,200	
牛鍵	2,065	2,065	県道，主要地方道
有野部	250	250	
上北	625	625	
赤平	220	220	県道
合計	17,882	14,045	

また，掘削の対象となる地質は第四紀更新世の海成段丘群における固結度の低い，主に軟質な砂層からなり，シルトや火山灰層を介在している．

このような地形・地質条件から，施工においては切羽における自立性の低下や緩み領域の増加，地表部への影響，地下水環境の変化などが課題であった．そのため，各問題点に対する経済的かつ合理的な施工の実現に向けて，地山の状況に応じて掘削工法や補助工法を駆使して施工を行い，安全性や合理性の確保を図った．

本稿を含めた三編では，東北新幹線八戸・七戸間トンネル群(**図-1**)において，切羽安定および沈下抑制を目的として採用された掘削工法や補助工法について，各工法の特徴や施工で確認された対策効果，今後の工法選定に向けた留意点などについて報告する．

本稿(その１)では，天端の補強を目的とした「圧入式短尺鋼管先受け工法」，「鋼管鋼矢板圧入打撃工法(SSPB工法)」，「パイプルーフ工法」について報告する．今後，12月号(その２)では鏡面の補強を目的とした「長尺鏡ボルト」，脚部の補

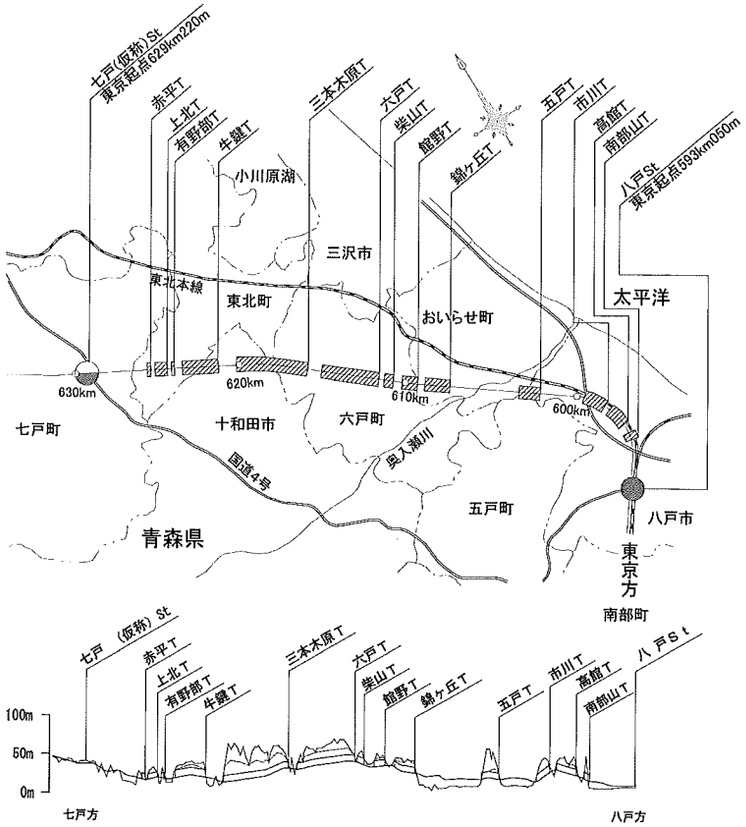


図-1　トンネル位置図

強を目的とした「サイドパイル，フットパイル」，「根固め吹付けコンクリート」について報告する予定である．21年１月号(その３)では，「地下水位低下工法」，「多段ベンチカット工法」，地山補強を目的とした「地山改良工法」について報告する予定である．

2　トンネル施工における課題

2-1　地形・地質概要

当該区間の地形は第四紀更新世に形成された台地および段丘群であり，土かぶりは２～45mで大部分のトンネルが10～20m程度となっている．

地質は，新第三紀鮮新世から第四紀更新世にかけて堆積した未固結の砂層を主体とし，同時期に堆積したシルト層が互層として分布している．トンネル掘削の対象となる砂層については，第四紀更新世に堆積した細粒分含有率が低く粒径のそろった未固結の砂層を主体としており，地山の流動化が生じやすい地山となっている．細粒分含有率Fcは５～20%程度，均等係数Ucはおおむね3～10程度に多く分布しており，一般に流砂を起こしやすいといわれている$Fc \leqq 10\%$かつ$Uc \leqq 4$の領域に多くの試料が入っている．

2-2　想定された課題

八戸・七戸間におけるトンネルの対象地山は小土かぶり未固結地山であり，これらのトンネル施工における問題点は以下の三つに集約される．

① 地山の強度が小さく，切羽の自立性が悪い．

② 土かぶりが小さく，地山の強度，剛性が低いため，変形が大きくなる．

③ 湧水により，切羽が不安定となる．

①の問題は未固結地山に共通なものであり，このため，未固結地山では切羽の自立性を確保するための対策が必ず講じられている．**写真-1**に三本木原トンネルにおいて生じた崩落状況写真を示す．

②の問題に対しては，トンネルの周辺に建物や埋設物がある場合には，これらの機能に支障を与えないように地山の変形を抑制する必要がある．また，これらの近接構造物のない場合であっても，未固結地山のトンネルで過大な変形を生じさせることは，切羽の崩落，不安定化を引き起こす原因ともなるので，地山の変形は極力抑制する必要がある．**図-2**は，施工時の天端沈下量と土かぶりの関係を示したものであり，図のように，本路線のトンネルでは比較的大きな沈下が生じている．

③の問題は，帯水している未固結地山において生じるものである．未固結地山，とくに砂層では，湧水により地山が洗掘され，切羽の自立性を確保

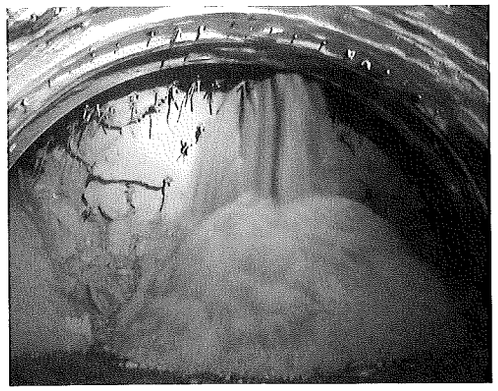


写真-1　切羽の崩落状況(三本木原トンネル)



写真-2　層境に残留した地下水の状況(三本木原トンネル)

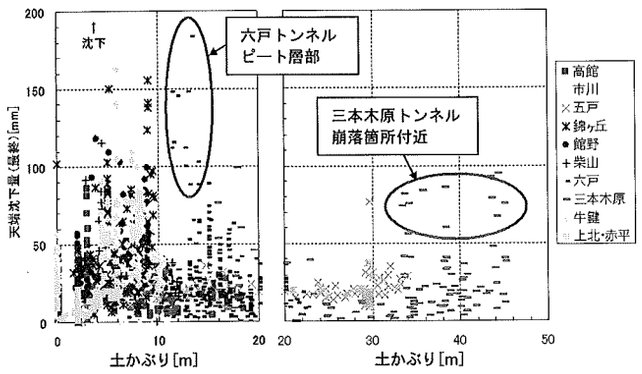


図-2　土かぶりと天端沈下量の関係

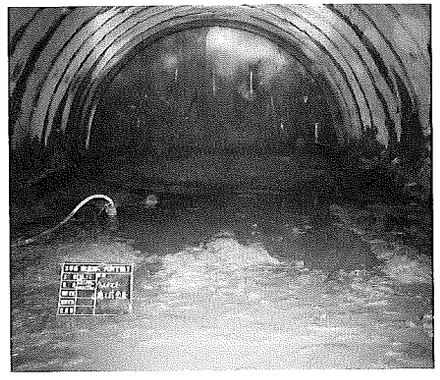


写真-3　上半盤の地下水状況(六戸トンネル)

することが困難となる．はなはだしい場合には切羽の流出にまで至る．さらに湧水によるロックボルトの定着不良，吹付けコンクリートの剝離，支保の沈下など，施工上も大きな障害が生じるおそれがある．したがって，含水未固結地山では地下水対策が非常に重要な役割を占めることとなる．**写真-2**に層境に残留した地下水の状況，**写真-3**に上半盤の地下水状況を示す．

3　採用された補助工法

施工当初は，前述の地形・地質的要因から，切羽の不安定化，変形の増大，残留地下水などの課題に直面し，場合によっては切羽が崩落する事態が発生した．そこで，切羽の安定化や沈下抑制を目的として，**表-2**に示すさまざまな掘削工法，補助工法を採用，あるいは新たに開発・実用化し，安全性・合理性の面

表-2　採用された掘削工法および対策工

工法		掲載号
天端の補強	フォアポーリング	—
	圧入式短尺鋼管先受け工法	Vol.39, No.10
	鋼管鋼矢板圧入打撃工法(SSPB工法)	Vol.39, No.10
	長尺フォアパイリング	—
	パイプルーフ工法	Vol.39, No.10
鏡面の補強	鏡吹付けコンクリート	—
	鏡ボルト	—
	長尺鏡ボルト	Vol.39, No.12
脚部の補強	サイドパイル，フットパイル	Vol.39, No.12
	根固め吹付けコンクリート	Vol.39, No.12
	仮インバート	—
地下水位低下工法		Vol.40, No.1
地山補強	地山改良工法	Vol.40, No.1
	注入工法	—
多段ベンチカット工法		Vol.40, No.1
プレキャストアーチカルバート		—
シールドを用いた場所打ち支保システム(SENS)		—

で効果が確認されている．

4　圧入式短尺鋼管先受け工法

4-1　工法の概要

圧入式短尺鋼管先受け工法は，トンネル天端付近の地質が軟弱な場合の切羽安定対策として，市川，五戸，錦ヶ丘，館野，六戸の５トンネルにおいて採用した工法[1),2)]である．

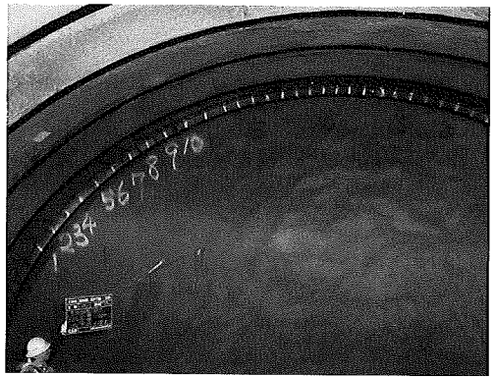
この圧入式短尺鋼管先受け工法は，φ48.6㎜，長さ２～３ｍの鋼管を200～300㎜間隔で，ジャンボのドリフターにより圧入・設置していく工法である．**図-3**に圧入式短尺鋼管先受け工法図，**写真-4**に施工状況を示す．

短尺の鋼管を圧入する施工となるため，地山の剛性が比較的低い箇所に適用することができる．しかしながら，固結度が低く流動化する地質では，鋼管の間から土砂が抜け落ちることがあったため，注意が必要である．

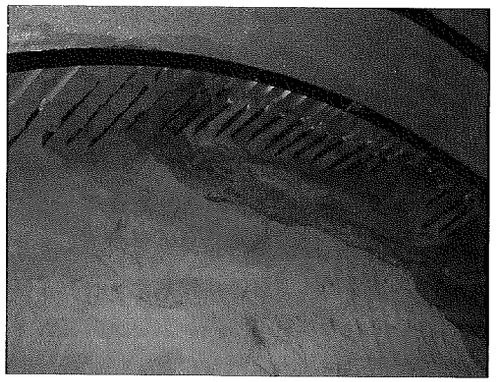
4-2　対策による効果

圧入式短尺鋼管先受け工法を採用した区間では，鏡ボルトとの併用により切羽と天端が安定し，安全に施工を行うことができた．**写真-5**に圧入式短尺鋼管先受け工法を施工したときの切羽状況を示す．

この工法は，**図-4**に示すように，砂質地山に鋼管を圧入することにより，鋼管の周辺に粒子の移動が生じ砂のせん断強度が向上する効果などが期待される．



(1)　設置後



(2)　掘削時

写真-5　切羽状況(五戸トンネル)

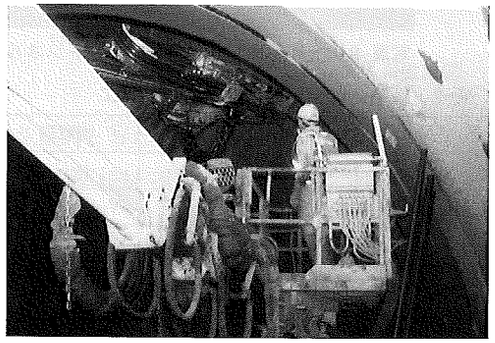


写真-4　施工状況(六戸トンネル)

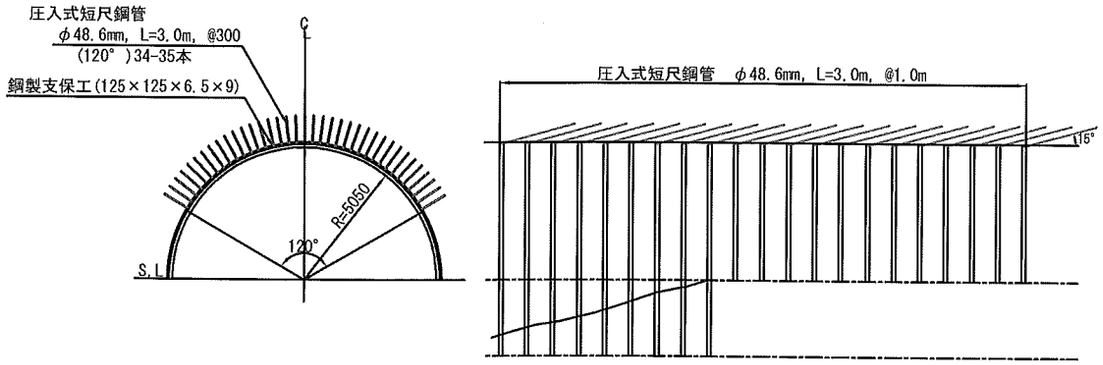


図-3　圧入式短尺鋼管先受け工法図

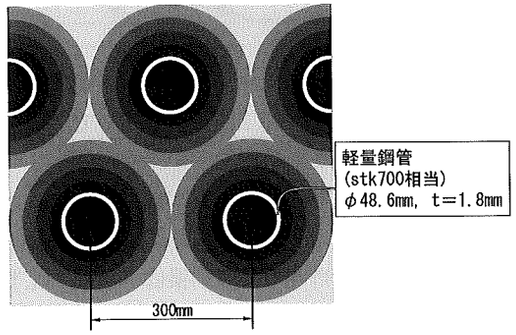


図-4　地山改良効果の模式図

切羽安定対策として実施する先受け工の中でも基本的な補助工法であり，後述の鋼管鋼矢板圧入打撃工法の半分以下の工費となり，経済性に優れる．

4-3　工法の特徴および選定上の留意点

圧入式短尺鋼管先受け工法は，天端の補強を目的とした充填式フォアポーリングをランクアップした先受け工として位置づけられる．したがって，地下水を有する未固結地山が対象となる場合には，地下水位低下工法(ディープウエル，ウエルポイントなど)との併用が必要である．なお，圧入式短尺鋼管先受け工法は，先受け長が短いため，固結度が低く含水や乾燥により流動化する地質の箇所においては，鋼管の間から土砂が抜け落ちるため，適用に十分注意し，鋼管の間のスペースをできる限り詰めるなどの配慮が必要である．

5　鋼管鋼矢板圧入打撃工法(SSPB工法)

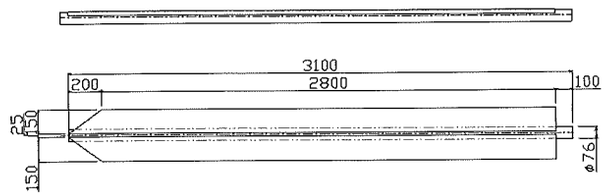
5-1　工法の概要

鋼管鋼矢板圧入打撃工法(SSPB工法：Steel-pipe Steel-sheet-pile Press-fit Blow Method)は，トンネル天端付近の地質が軟弱な場合に，切羽安定対策を目的として，市川，錦ヶ丘，館野，柴山，牛鍵の５トンネルで採用した工法[3)]である．

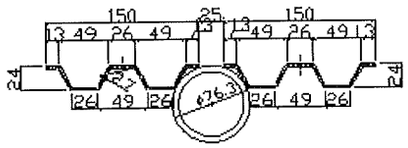
鋼管鋼矢板圧入打撃工法は，φ65㎜の鋼管に軽量鋼矢板を取り付けた先受け材をジャンボのガイドセルに搭載，ドリフターの圧入力と打撃力で切羽天端前方に打設・設置していく工法である．

鋼管の目的は，鋼矢板が連続的なアーチを形成するためのガイド効果，先受け材の剛性を高める効果および鋼管外周地山を締め固める効果などを期待している．また，鋼管鋼矢板には，注入方式の改良体より高い剛性を保有していること，確実なアーチを形成できることおよび周辺地山を締め固める効果などの優位性が考えられる．

図-5，**写真-6**に鋼管鋼矢板の仕様および外観，



鋼管鋼矢板　仕様断面図



鋼管鋼矢板　仕様平面図

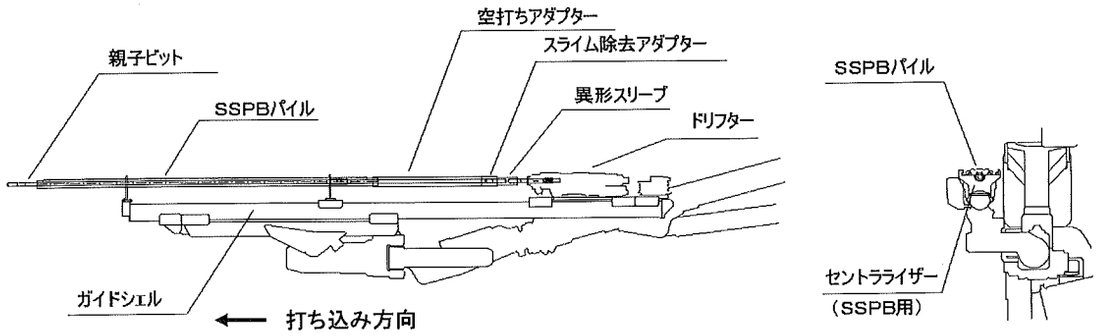


図-5　鋼管鋼矢板の仕様

図-6に鋼管鋼矢板圧入打撃工法図を示す．

鋼管に鋼矢板を取り付けた先受け材を圧入することで，比較的地山剛性の低い箇所に適用できる．鋼矢板と鋼矢板の隙間からの流砂が想定される地山条件では，注入管(φ19)を併設したタイプを採用することができる．

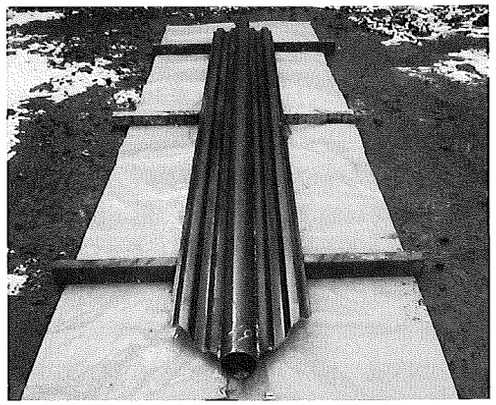
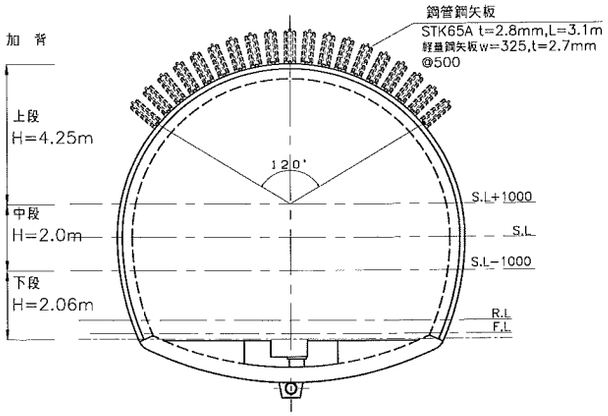


写真-6　鋼管鋼矢板の外観



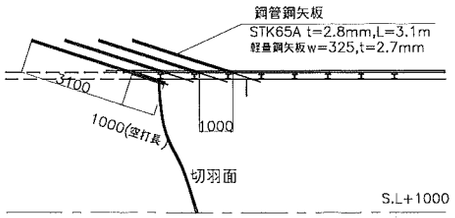


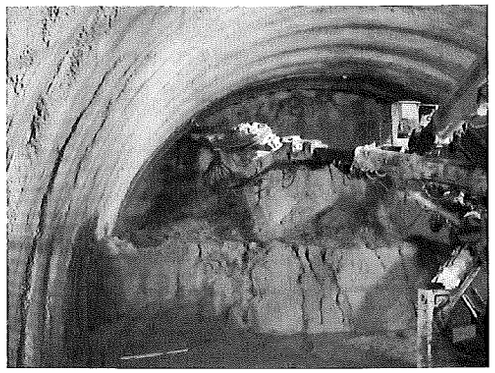
図-6　鋼管鋼矢板圧入打撃工法図

5-2　対策による効果

鋼管鋼矢板圧入打撃工法を採用した区間では，切羽が安定し，安全に施工を行うことができた．写真-7に施工時の切羽状況を示す．

しかし，地質条件が悪い場合には，部分的に大きな地表面沈下が生じた．つまり，鋼管鋼矢板圧入打撃工法単独での沈下抑制効果は小さく，沈下抑制のためには他の対策工を併用する必要があると考えられる．図-7に鋼管鋼矢板圧入打撃工法を採用した区間(牛鍵トンネル，土かぶり7.5m)の地表面沈下分布を示す．

図-8は，鋼管に貼り付けたひずみ計により得られた軸力および曲げモーメント分布を示したものである．鋼管鋼矢板打設後の1基目を掘削した時点では，大きな変化は見られない．鋼管鋼矢板打



(1)　設置時



(2)　設置後

写真-7　切羽状況(牛鍵トンネル)

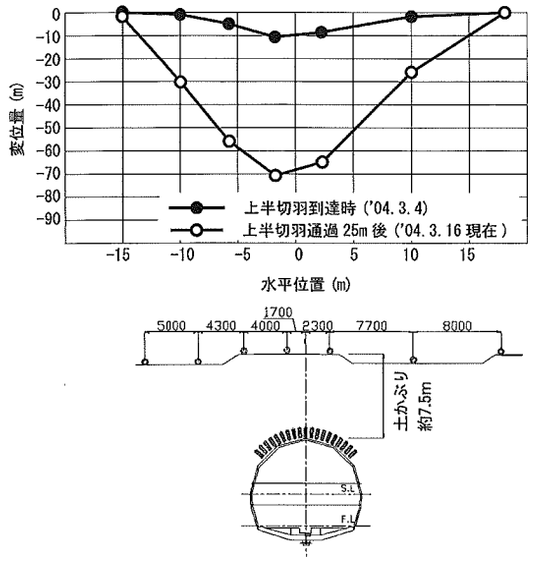
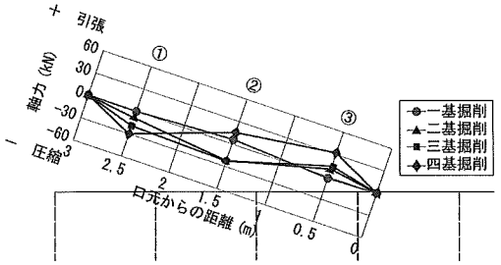
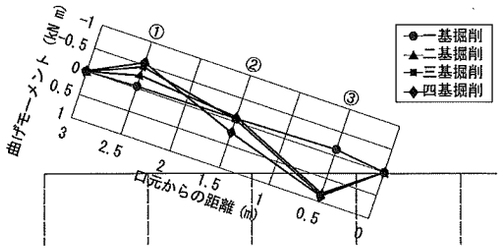


図-7　地表面沈下分布



(1)　軸力分布



(2)　曲げモーメント分布

図-8　鋼管の計測結果

設後の2基目を掘削したときに軸力が若干増加し，手前側が内空側に凸の，先端付近が地山側に凸のモーメントが発生している．鋼管鋼矢板打設後の3基目を掘削したときにはほとんど変化していないが，鋼管鋼矢板打設後の4基目を掘削したときに軸力が増加している．また，発生応力は最大80 N/㎟程度であり，使用鋼材の許容応力σ_{sa}＝140 N/㎟を下回っており，健全性は確保されていると考えられる．

5-3　工法の特徴および選定上の留意点

鋼管鋼矢板圧入打撃工法は，フォアポーリングや前述の圧入式短尺鋼管先受け工法における課題であった鋼管の間のスペースからの流砂現象に対応して，八戸・七戸間トンネル群で開発・実用化してきた工法である．これにより，鋼矢板が折り重なるように設置されることで，切羽天端部分に傘ができた状態となるため，掘削時において吹付け前の切羽天端からの土砂崩落を防止する効果が発揮され，切羽作業の安心感が向上した．

施工性に関しては，圧入式短尺鋼管より打ち込み抵抗が大きくなるため，この工法の適用範囲の地質は比較的軟弱な地山となる．また，鋼管に比べて幅を持った先受け支保材を用いるため，矢板が負担する地山荷重が大きくなる．したがって，沈下抑制効果を得るためには，荷重が伝達する鋼製支保工脚部の沈下対策などの補強工について検討する必要がある．

6　パイプルーフ工法

6-1　工法の概要

パイプルーフ工法は，土かぶりが小さく，トンネル周辺の地質が軟弱で，地表部に国道45号および百石道路(有料道路)がある市川トンネル出口部の沈下抑制対策・崩落防止対策として，採用した工法[4)~6)]である．

パイプルーフ工法は，トンネル外周に沿って鋼管を打設した後，その内側のトンネルを施工していく工法である．図-9にパイプルーフ工法図，写真-8に施工状況を示す．

岩盤，転石・玉石を含む地盤，砂礫，およびこれらの土質に砂質土・粘性土を含む互層など，多様な地層構成に対応が可能であるが，高価な補助工法である．したがって，土かぶりが小さい，トンネル周辺の地質が軟弱，地表部に幹線道路や重要構造物があるなどの条件が重なった場合に適用することとした．

6-2　対策による効果

市川トンネルのパイプルーフ施工区間は，土か

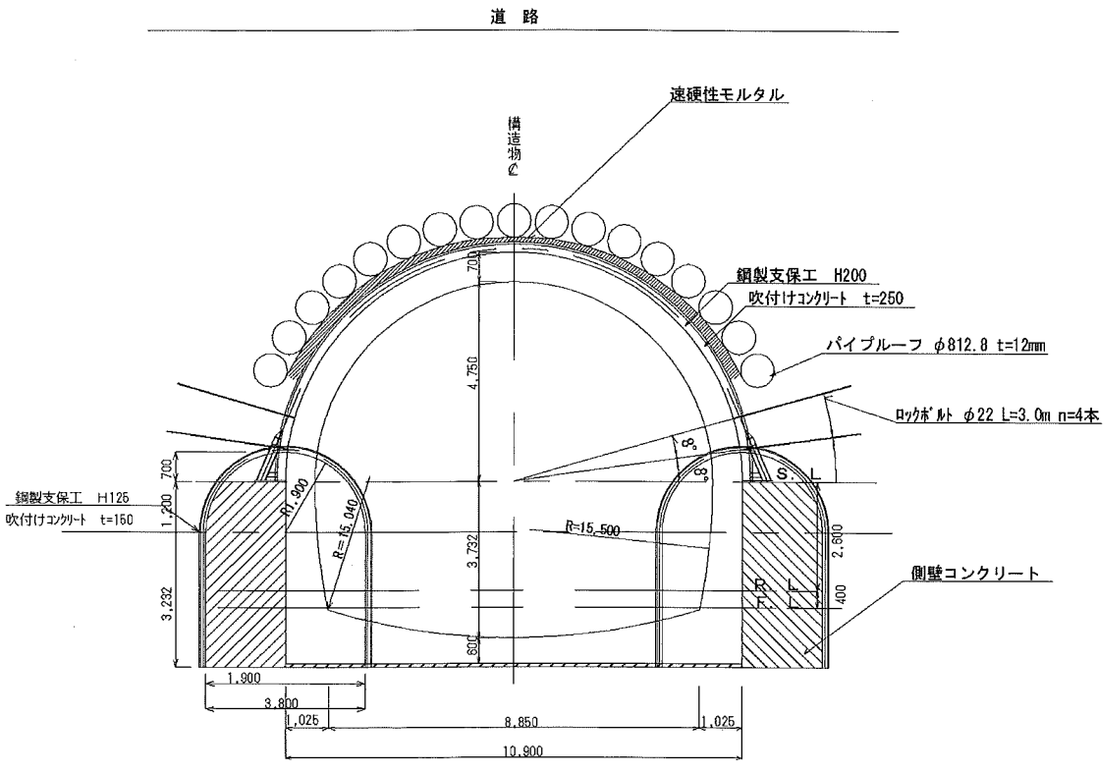
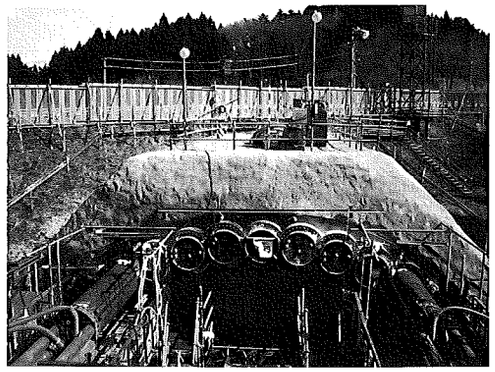
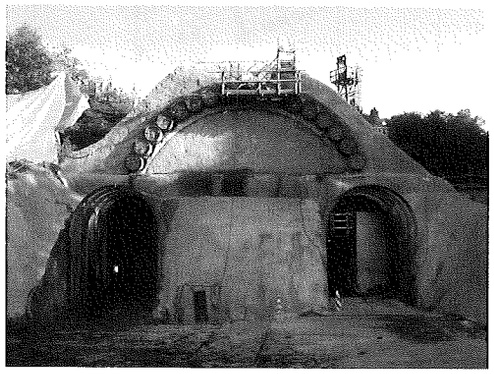


図-9　パイプルーフ工図



(1)　パイプルーフ施工時



(2)　側壁導坑掘削時

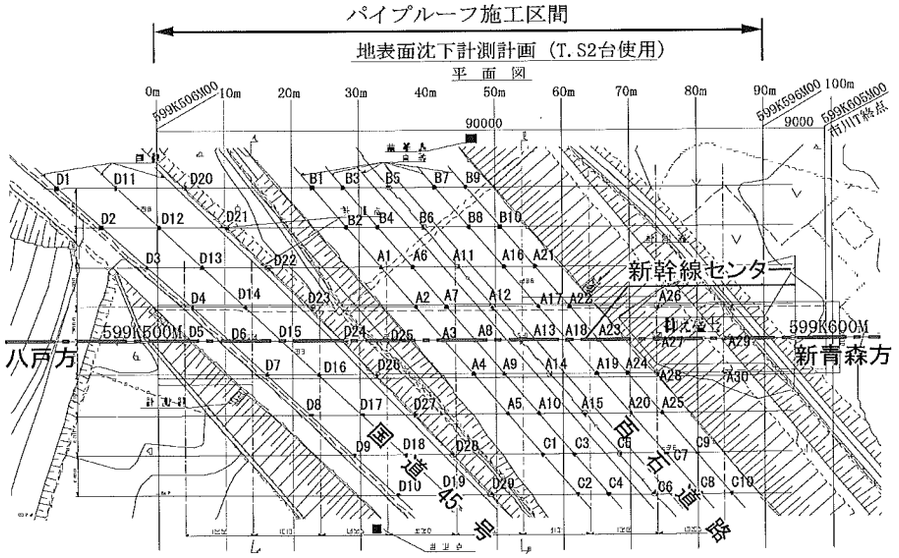
写真-8　施工状況(市川トンネル)

ぶりが3mの軟弱地盤という厳しい地質条件であったが，安定して掘削することができた．また，トンネル掘削時の沈下量は国道側で30～40㎜，有料道路側で40～50㎜程度であった．

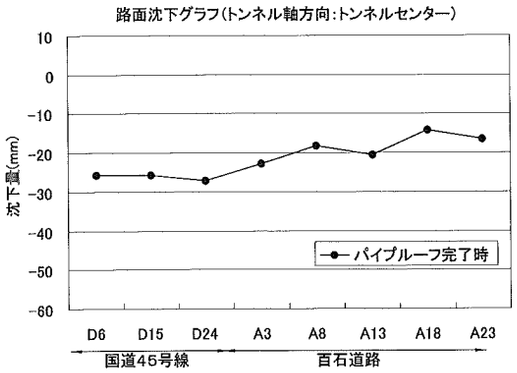
図-10にトンネル軸方向の路面沈下量を示す．また，**図-11**にパイプルーフ施工時のトンネル横断方向の地表面沈下量を示す．

6-3　工法の特徴および選定上の留意点

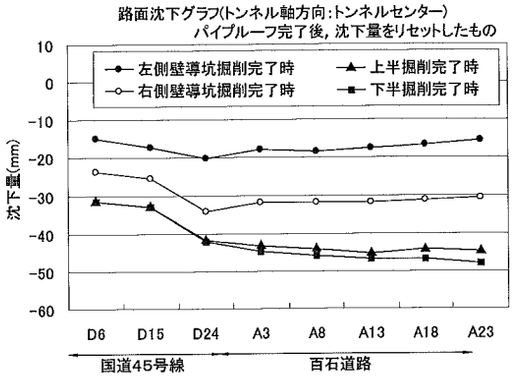
トンネル掘削においては事前の想定沈下量をクリアすることができたが，パイプルーフ施工時に若干の沈下が発生した．したがって，今後の計画においては，パイプルーフ施工時および側壁導坑施工時などの沈下に関しても，注意が必要である．今回の施工では，パイプルーフの鋼管を連結した



(1)　計測位置図

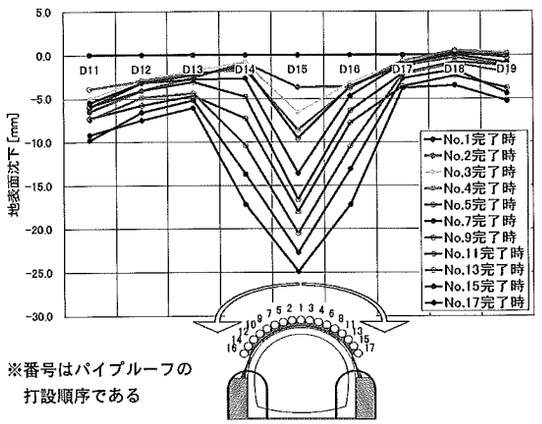


(2)　パイプルーフ施工時

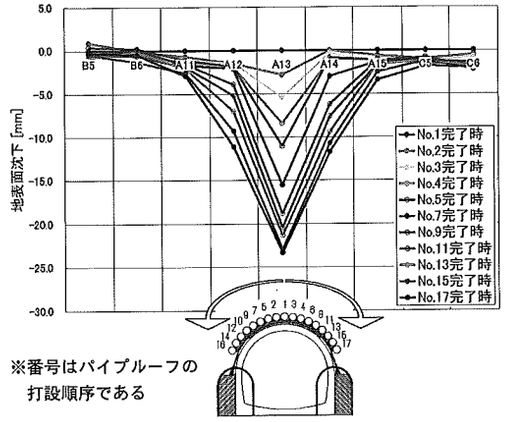


(3)　トンネル掘削時

図-10　地表面沈下



(1)　国道45号側(599km525m)



(2)　百石道路側(599km560m)

図-11　パイプルーフ施工時の地表面沈下分布

ため，打設順序が限られてしまったが，沈下への影響を抑制するための効果的な打設順序などについて事前に検討しておく必要がある．

7 ま と め

東北新幹線八戸・七戸間トンネル群では，地下水を多量に有する未固結の洪積砂層を，土かぶり10～20m程度(一部２～３m)で，約17.9kmにわたって掘削を行ってきた．このような連続トンネルを短期間で掘削することから，近年，土砂地山へ標準的に適用されている長尺フォアパイリングだけに頼ることなく，安全性や経済性の両面から合理的な施工の実現を目指してきた．

本報告では，八戸・七戸間トンネル群における切羽安定，沈下抑制を目的とした掘削工法や補助工法について総括した．本稿(その１)では，総括した掘削工法，補助工法の中から，天端の補強を目的とした圧入式短尺鋼管先受け工法，鋼管鋼矢板圧入打撃工法，パイプルーフ工法を抽出し，実際の施工結果をフィードバックしたうえで各工法に関する知見を整理した．

① 圧入式短尺鋼管先受け工法は，剛性の低い地山への対応として実施した先受け工である．砂質地山への鋼管の圧入による鋼管周辺地盤のせん断強度の向上により，天端における安定性が向上した．

② 鋼管鋼矢板圧入打撃工法は，先受けボルトや鋼管の間からの土砂の抜け落ちに対応するために実施した工法である．不安定な天端付近に鋼矢板の傘ができることで，作業上の安全性が格段に向上した．本工法では，剛性の高い部材が天端上部の土砂を支持することから，沈下が大きくなることもあるため，注意が必要である．

③ パイプルーフ工法は，幹線道路下で沈下抑制を目的として採用した工法である．パイプルーフおよび側壁コンクリートによって，トンネル掘削時の沈下量を抑制することができた．本工法では，パイプルーフ施工時に沈下を誘発することがないよう，事前に詳細な検討が必要である．

小土かぶり未固結地山における想定外の地山性状，トンネルの合理的な設計・施工の追求により，施工当初は数回にわたる切羽崩落が発生することもあった．しかしながら，東北新幹線トンネル施工技術委員会(委員長：足立紀尚・京都大学名誉教授)における施工のフィードバックおよび新技術の検討結果を現場へ即座に活用することで，無事掘削を完了することができた．

最後に，本稿を含めた３編の報告は，同委員会における検討結果を再整理したものである．委員長，委員各位および関係者の皆様に，この場をお借りして心より感謝の意を申し上げます．

参 考 文 献

1) 田辺宏：補助工法を併用した低土被り未固結土砂地山トンネルの施工，日本鉄道施設協会誌，pp.52–53，2004.5.
2) 北川隆・梅木信夫・菊地稔・鈴木登：種々の切羽安定対策工で未固結地山を掘削，東北新幹線　五戸トンネル，トンネルと地下，Vol.35，No.11，pp.7–14，2004.11.
3) 北川隆・中山範一・佐原圭介・後藤光理・小西真治・奥津一俊：低土被り・土砂トンネルにおける軽量鋼矢板付き鋼管先受け工の切羽安定効果の研究，第14回トンネル工学研究発表会，pp.61–70，2004.11.
4) 森田泰智・飯島興二・梅木信夫：土被り4mの幹線道路下を掘削するトンネルの施工計画について，土木学会平成16年度東北支部技術研究発表会，第Ⅴ部門–76，pp.766–767，2005.3..
5) 森田泰智：長尺パイプルーフによる道路直下のトンネル施工，日本鉄道施設協会誌，pp.44–46，2006.3.
6) 飯島興二・梅木信夫・高橋聖二・千代谷朝男：幹線道路直下を90mのパイプルーフで克服，東北新幹線市川トンネル，トンネルと地下，Vol.37，No.6，pp.7–16，2006.6.

施工

中央構造線擾乱帯を貫く

—三遠南信自動車道　三遠トンネル—

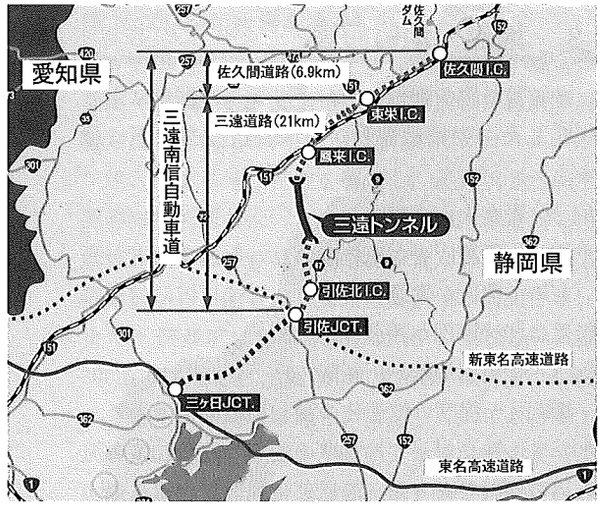
国土交通省中部地方整備局浜松河川国道事務所工務第二課長　秋田　修
国土交通省中部地方整備局浜松河川国道事務所工務第二課設計係長　真弓英大
鳳来地区三遠トンネル新設工事大林・錢高特定建設工事共同企業体所長　玉井昭雄
引佐地区三遠トンネル新設工事清水・熊谷特定建設工事共同企業体所長　岡山　徹

1 は じ め に

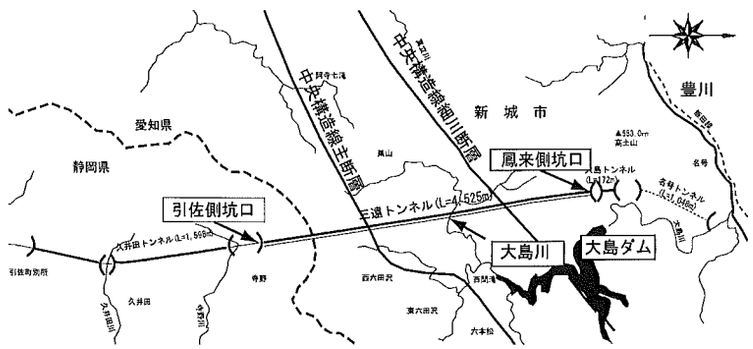
三遠トンネル(仮称)は，三遠南信自動車道(長野県飯田市～静岡県浜松市北区三ヶ日町に至る延長約100km)のうち，引佐北IC(仮称)～鳳来IC(仮称)間に位置し，延長4,525mの直轄国道としては全国で４番目に長いトンネルである．避難坑および本坑は，NATMで施工しており，避難坑は平成17年３月に掘削開始し，平成19年11月貫通した．本坑は平成17年７月に掘削開始し，現在施工中である．

本トンネルは，中央構造線を通過することから，追加事前調査の実施や避難坑での地質確認結果を有効に活用しながら本坑の施工を進めている．

本稿では，主に中央構造線の地質および施工状況とトンネル挙動特性について報告するものである．



(1) 広域



(2) 詳細

図-1 三遠トンネル位置図

2 工 事 概 要

三遠トンネル(仮称)工事は，本坑延長4,525m(鳳来工区延長2,806m，引佐工区延長1,719m)，

避難坑延長4,537m(鳳来工区延長2,829m，引佐工区延長1,708m)のトンネル工事である．

本トンネルが通過する位置は，中央構造線が2本に分岐する特異な地域であり，北側の細川断層，南側の中央構造線主断層の2本の断層間は中央構造線擾乱帯と呼ばれ，時代や形成過程の異なる岩盤が断層に揉み込まれるように分布している．引佐工区においては，坑口から1,200m付近より蛇紋岩が出現し，中央構造線主断層までこの地質が継続した．

このように，複雑な地層の掘削となったため，両工区とも避難坑を先行させて地質を確認し，計測結果とあわせて地山性状を評価し，本坑の掘削方法，支保構造ならびに補助工法の選定などに反映させた．

3　地形・地質概要

地質縦断図を図-2に示し，トンネル掘削により判明した中央構造線近傍の地質状況を以下に示す．

(1)　設楽火山岩類

流紋岩質凝灰岩が主体であり，新鮮で硬度が高いものの亀裂が発達しており，とくに坑口付近の岩盤は柱状節理が顕著であった．

(2)　中央構造線細川断層

幅約4m程度の粘土化の激しい破砕帯であり，トンネル軸に対して約70度の走向で，約70度の流れ目の傾斜であった．断層部は脆弱で剥落しやすい状況であったが，湧水は見られなかった．断層の前後には，断層から派生したと思われる弱層が脈状に観察された．断層部岩石の粘着力は0.2N/㎟，内部摩擦角1.3°，超音波伝播速度2.1km/secであった．

(3)　火成岩源カタクレーサイト(花崗岩～花崗閃緑岩質，凝灰岩質)

泥質岩メランジュと混在し，メランジュ中の構造性ブロックの形で分布する．部分的にろう石化しており，ろう石脈に沿って軟質で剥離しやすい．亀裂間隔は，5～50cm程度であるが，ハンマー打撃により小片状となった．

(4)　河内層(泥岩)

火成岩源カタクレーサイト(花崗岩・花崗閃緑岩質，凝灰岩質)と混在する泥質メランジュである．カタクレーサイトのブロック間に発達する小規模な断層沿いに，薄いフィルム状に発達する．

(5)　巣山火砕岩類(凝灰岩)

比較的硬質の凝灰岩が主体であるが，層理面の発達が見られる．部分的に泥質岩の混入や風化・粘土化した部分があり，こうした箇所では脆弱であった．

三波川結晶片岩類(蛇紋岩)との境界付近では，河内層の貫入があり，褶曲やせん断した岩相が観察された．

(6)　三波川結晶片岩類(蛇紋岩)

角閃石の蛇紋岩化した塊状部と蛇紋岩化がさらに進行した葉片状部とがある．七郷一色累層と巣山火砕岩類の間は，塊状の蛇紋岩が卓越していた．岩石の粘着力は0.71N/㎟，内部摩擦角17～23°，超音波伝播速度は4.8～5.7km/secであった．

(7)　七郷一色累層(砂岩，頁岩)

砂岩・頁岩が主体であったが，三波川結晶片岩類(蛇紋岩)の近傍では，岩石の変質が著しく鏡肌状の光沢ある岩相であり，この区間は，中央構造線主断層の派生断層と考えられる．三波川結晶片岩類(蛇紋岩)区間を離れるにしたがい硬質な岩盤となった．

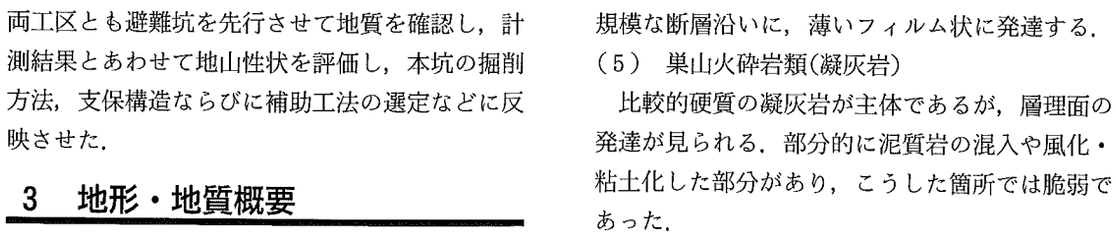


図-2　地質縦断図

(8)　中央構造線主断層

蛇紋岩を原岩とする中央構造線主断層の断層破砕帯部は避難坑で幅約50m，本坑で幅約75m程度，粘土混じりの葉片状を呈する軟質な地山であった．角度は約30～40度であり，当初想定していた約50度よりも低角度であったため，主断層の確認位置は想定よりも約60m北側に位置していた．

(9)　蛇紋岩・角閃岩

中央構造線主断層の南側に分布する大規模蛇紋岩は，土かぶり約100～130mで幅約300mに及び，塊状岩を含むが，葉片状，粘土状が主体であり，一軸圧縮強度2.2～2.7N/㎟，地山強度比0.7～1.2であった．

(10)　結晶片岩類

泥質片岩が主体であり，砂質片岩，緑色片岩なども確認されたが，切羽では岩塊状～レンズ状で挟まれた状態で出現し，連続性に乏しかった．泥質片岩は，片理が非常に発達し，片理面が鏡肌となっていたため開口しやすく，剥離性に富んでいた．

4　施　工　状　況

4-1　鳳来工区

4-1-1　多量湧水

避難坑では，掘削に先立ち削岩機による長尺の探り削孔(φ65㎜，L＝50～60m)を定常的に実施し，切羽前方の地山状況を確認しながら施工を進めた．避難坑坑口より600m付近の探り削孔では数百ℓ/分の出水があり，水抜きを目的とした長尺削孔を実施して地下水位の低下を図った．しかし，水抜き孔の本数増加につれて湧水量が増大する結果となり，切羽周辺の水抜き孔からの総湧水量は最大で約5,000ℓ/分を観測し，水抜き孔からの細粒分の流失による地山の緩みや作用する水圧のため部分的な支保工の変状も発生した．このため，一時トンネル掘削を中断し，水抜きおよび地質状況の把握とともに，湧水箇所，地下水位，供給源などの特定を目的としたコアボーリングを実施した．コアボーリングの実施にあたっては，作業性ならびに将来的な坑内湧水処理スペースを確保するため，避難坑を15mの区間にわたり拡幅してボーリング座とした(図-3)．坑内湧水量の増大に対しては清濁分離を行うとともに，既設の濁水処理設備(60t/hr)では能力が不足するため，処理能力200t/hrの設備を増設した．

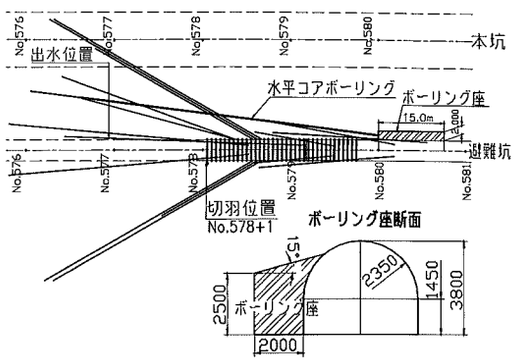


図-3　水抜きボーリング配置概要

コアボーリング実施後，切羽周辺からの湧水量は徐々に減少し，濁水処理設備増設後に掘削を再開した．掘削にあたっては切羽周辺のシリカレジン注入による地山補強を併用し，避難坑多量湧水部を無事通過した．本坑掘削時には，避難坑での水抜き効果により切羽湧水は少量であったが，掘削路盤からの湧き出しなど恒常湧水が観測された．また，避難坑にて多量湧水があった位置から約300mの区間では，掘削後に亀裂からの湧水が多く，とくに降雨後に顕著に増加した．このためトンネルの長期安定性を考慮し，本坑では覆工背面の排水機能を高め水位上昇を抑えるために立体網状体付き防水シートを設置し，横断排水管を増設した．

4-1-2　細川断層部における施工

鳳来工区では，設楽火山岩類と火成岩源カタクレーサイトの境界で中央構造線細川断層の存在が確認されていた．しかしながら，トンネル掘削深度における正確な位置，性状，湧水の有無などの地山性状の詳細は不明で不確かであったため，避難坑から前方探査を行い，避難坑と本坑の支保の安定，補助工法の必要性について事前に検討した．避難坑にて行った地山評価と施工へのフィードバックの流れを図-4に示す．

（1）　水平コアボーリング

TSP探査，探り削孔の結果から細川断層と擾乱帯の位置を特定し，避難坑切羽から延長66mの水平ボーリングを行ってコアを採取し，地質の確認・岩石試験を行い，地山評価・解析に必要なデータを得た．コアボーリングでは，細川断層と思われる軟質で脆弱な粘土化した頁岩層が４mの幅にわたり確認された．断層の前後はその影響を受け，亀裂が発達し粘土の挟在が見られるものの基岩自体は新鮮であり，掘削に大きな悪影響は及ぼさないものと判断された．また，断層前後での湧水はほとんど確認されなかった．

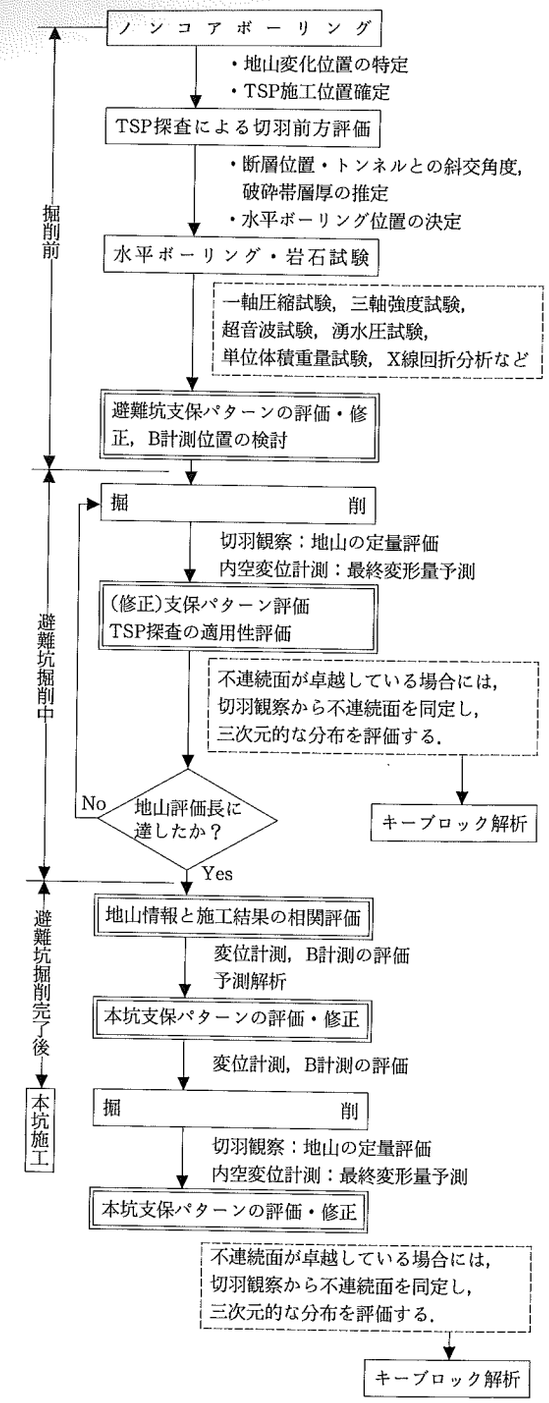


図-4　細川断層部の地山評価フロー

（2）　避難坑の施工

粘性土化した細川断層付近の脆弱な区間においては，断層部の切羽の安定や長期的な支保工の塑性変形などが懸念されたため，断面形状を馬蹄形に変更し，吹付けコンクリートによるインバートを設けた支保パターンDI-P-J1および注入式フォアポーリングと鏡吹付け工を補助工法として採用した(**図-5**)．細川断層付近で採用したDI-P-J1による施工では，断面閉合効果が発現し，塑性地圧に対して有効に機能したと考えられる．また，この区間では，双設トンネル影響が懸念されたが，先行避難坑への本坑掘削影響はほとんど観察されなかった．

（3）　本坑の施工

本坑の施工に先立って，コアボーリングで得られた岩石試験結果ならびに避難坑掘削時の内空変位・天端沈下などの計測結果より，細川断層周辺の地山物性・応力状況を逆推定し，本坑計画時支保パターンDsIの安定を有限要素法解析で照査した(**図-6**)．解析結果によると，DsIパターンでは変位量は小さいものの，鋼製支保工に作用する応力は大きく，とくに上半施工時の脚部応力が大きいと推定された．しかしながら，細川断層区間が短いこと，断層前後の岩盤が比較的健全であることなどから，脚部沈下や支保変状に留意しながら，また下半の早期掘削，インバートコンクリートによる断面閉合も考慮に入れて，DsIパターンにて施工を行うこととした(**図-7**)．切羽の安定性確保では，避難坑同様，注入式フォアポーリングと鏡吹付け工を補助工法として採用した．また，避難坑にて一部鏡吹付けコンクリートに剥離・剥落が生じたことから，細川断層を包含する形で長尺鏡ボルト(１スパン分，L＝12m)を採用した．

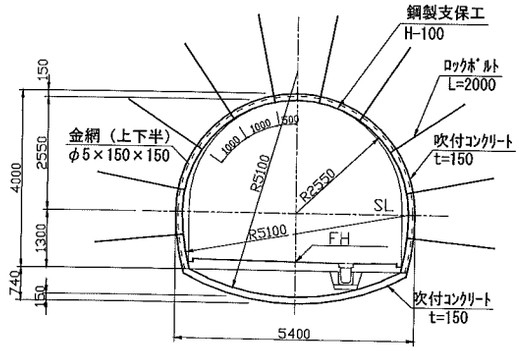
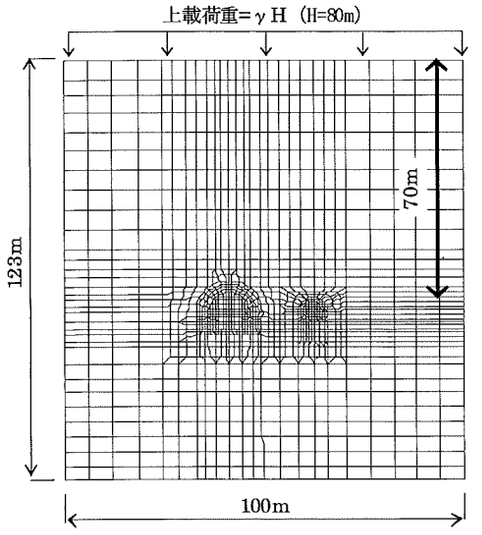


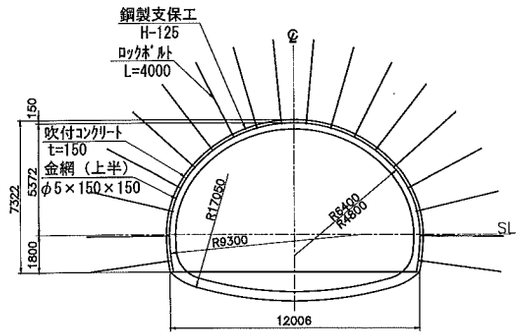
図-5　避難坑支保パターン(ＤＩ-P-J1)



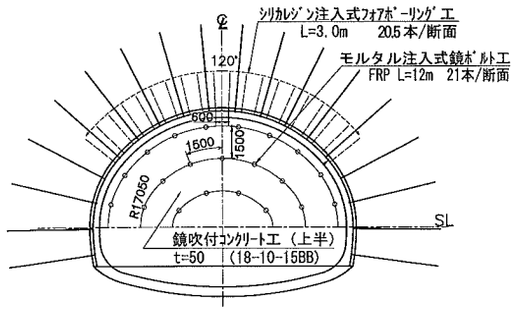
	弾性係数 (MN/m²)	ポアソン比	単位体積重量 (MN/m³)
DI	4,750	0.38	0.0230

モデル化		
	地　山	平面ひずみ要素
	吹付けコンクリート＋鋼製支保工	等価剛性梁要素
	インバート吹付けコンクリート	梁要素
	ロックボルト	棒要素

図-6　解析モデル概要



(1)　支保構造



(2)　補助工法

図-7　本坑DsⅠパターン

4-2　引佐工区

4-2-1　避難坑工事

（1）　施工方針

中央構造線主断層までの区間には，蛇紋岩化した角閃岩～カンラン岩が分布しており，この蛇紋岩，中央構造線主断層破砕帯では，地山強度比は0.7～1.2と低く脆弱であるので，過大な変位や支保構造体の変状・破壊などの発生が危惧された．このため，トンネル支保構造体を高耐力化し，計測工A，Bによる動態計測のもと，早期閉合でトンネル支保構造体の力学的安定を確保することにした．

（2）　支保構造と補助工法

粘土状・葉片状蛇紋岩は，脆弱で押し出し性を示すので，「高強度吹付けコンクリートを主要支保部材とする高耐力支保構造仕様とし，早期閉合による支保の軸力閉構造化で支保耐力の早期発現と掘削影響域の深部進展を抑制する」を基本とし，厚肉円筒理論解を用いて必要支保耐力を算定[1]し，これを参考にして支保構造仕様を定めた(**表-1**)．補助工法は，鏡吹付け工を基本とし，支保施工までの間の掘削面の自立と設計品質の確保および施工を確実にするために，注入式フォアポーリング

表-1　避難坑支保構造仕様(蛇紋岩・主断層)

断面区分		DⅡ-P
地山性状		葉片状・粘土状
1掘進長		1.00m
変形余裕量		10cm
支保・閉合	吹付け厚(圧縮強度)	20cm(36N/mm²)
	鋼製支保工	H-150 (SS400)
	ロックボルト本数	11本(L＝3 m)，170kN

表-2　補助工法仕様(避難坑)

注入式フォアポーリング	L＝2.0m, 9.5本/断面(アーチ部120°，p＝600)
注入材	シリカレジン 設計注入量(10kg/m/本)
鏡吹付け	t＝5 cm，切羽鏡
鏡ボルト	L＝3.0m，鋼管膨張型, 9本/断面(半径×周，p＝1.0m)

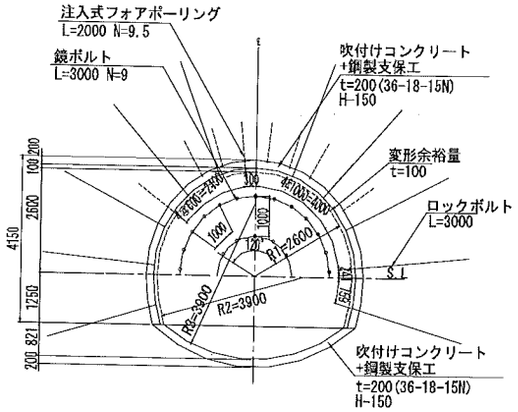


図-8　避難坑支保パターン(蛇紋岩・主断層)

を地質性状と分布規模に応じて実施した.

(3)　施工方法

断面閉合の施工単位は1mとし，切羽から2～3m後方で，掘削進行1mごとに断面閉合するレール方式全断面掘削である(図-9).

(4)　施工状況

蛇紋岩と主断層破砕帯区間の開始測点位置と規模，土かぶり厚と地山性状および計測工B断面位置を表-3，図-10にまとめて示す.

先行避難坑のトンネル挙動特性は不明であるので，圧縮強度を36N/mm²とするDⅡ-Pの早期閉合で施工した.蛇紋岩①の地山性状は粘土状であり，また大規模蛇紋岩③は葉片状であるが，切羽の自立度は高かったので，補助工法なしで施工した.蛇紋岩②と主断層では，切羽自立度が低かった施工延長4 m，28m間で，注入式フォアポーリングを採用し，切羽の安定を確保しながら施工した.主断層切羽状況を写真-1に示す.

大規模な蛇紋岩③と主断層破砕帯区間の施工延長は約350mであり，この掘削に約6か月を要し，月進行は約58mであった.

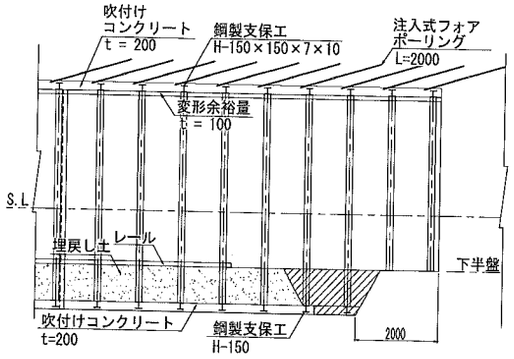


図-9　避難坑掘削方法

表-3　蛇紋岩・主断層破砕帯規模と性状(避難坑)

岩種区分	蛇紋岩①	蛇紋岩②	蛇紋岩③	主断層破砕帯
開始測点	No.427 +13.5	No.440 +12.5	No.443 +13.0	No.459 +9.5
規模(幅)	小規模 (15m)	中規模 (16m)	大規模 (303m)	中規模 (55m)
土かぶり厚	122m	—	103m	74m
地山性状	粘土状	粘土状	葉片状	粘土状
計測工B断面	No.428 +0.5	—	No.447 +7.5	No.461 +2.5

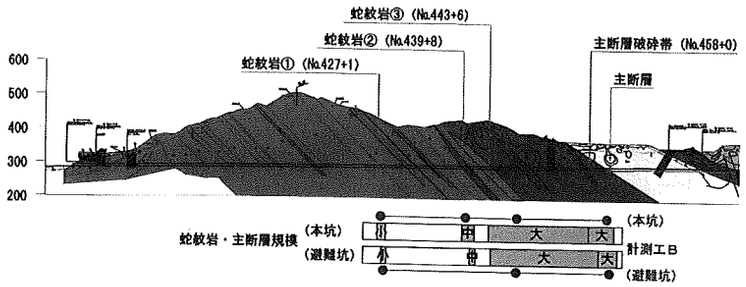


図-10　蛇紋岩・主断層位置と分布規模



写真-1　中央構造線主断層切羽状況

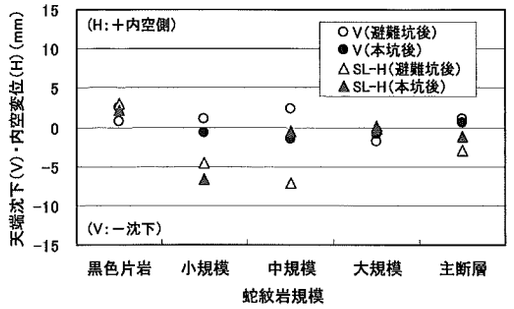


図-11　変位の収束値(避難坑)

(5)　避難坑挙動特性

避難坑掘削後と本坑掘削後の蛇紋岩と主断層破砕帯区間に設けた計測工B断面位置での避難坑変位の収束時最大値を図-11に示す.これから，以下のことがわかる.

①　避難坑掘削後の天端は最大2.3mm上方向に変位し，内空変位は地山側に7.2mm拡大するが，早期閉合により，トンネル変位は，変形余裕100mmの範囲内で収束する.

②　トンネル中心間距離は約25m離れているが，本坑掘削影響として，天端は最大4 mm沈下，内空変位は内空側に最大7 mm縮小する.

(6)　避難坑支保効果

本坑掘削影響を受けた吹付けコンクリート軸応力と支保部材軸力に対するこれの分担率を図-12，13に示す.また避難坑掘削後に対する本坑掘削後吹付けコンクリート軸応力増分比を図-14に，本坑掘削後ロックボルト軸力の測線内最大・最小値を図-15に示す.これらから，以下のことがわかる.

①　吹付けコンクリート軸応力の最大値は9 N/mm²，主断層区間では4.4N/mm²の圧縮となり，圧縮強度36N/mm²の範囲内で安定する.

②　吹付けコンクリートは，支保部材発生軸力

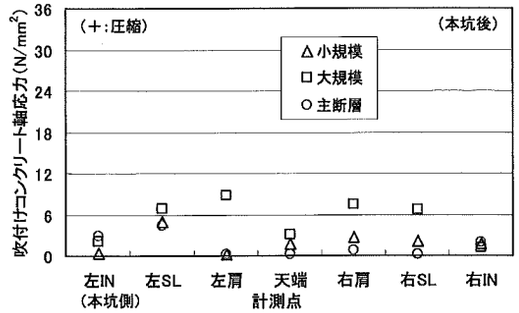


図-12　吹付けコンクリート軸応力

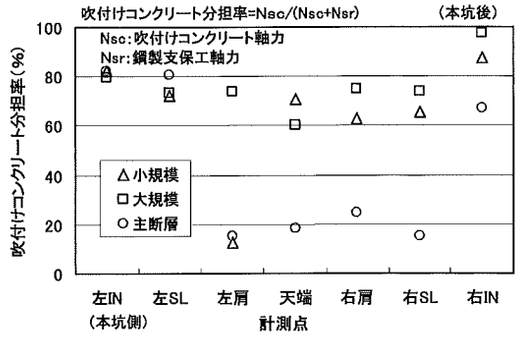


図-13　吹付けコンクリート分担率

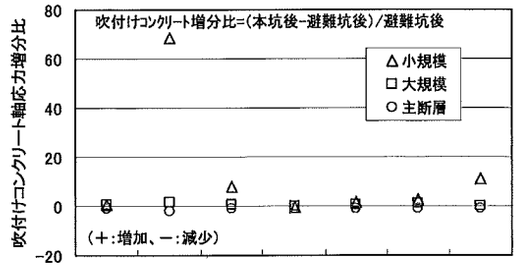


図-14　吹付けコンクリート軸応力増分比

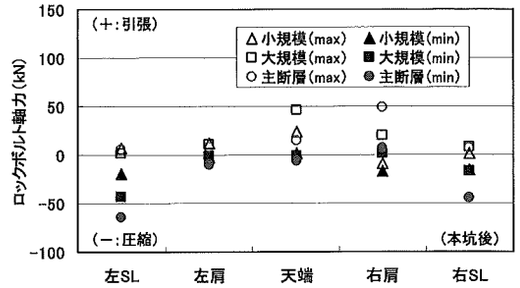


図-15　本坑掘削後のロックボルト軸力(最大・最小値)

の60～80％を分担する．主断層のアーチ部から右SL部にかけて，不均質な物性分布の影響を受け，鋼製支保工が75～85％を分担する．

③　避難坑掘削後の吹付けコンクリート増分軸応力の避難坑後に対する増分比は，小規模区間を除くと，－2.3～1.5倍に増減する．小規模区間では，避難坑掘削時はゼロに近い値であったが，本坑掘削後に約７kN/㎟に増加したため最大69倍となり，本坑掘削影響を大きく受ける．

④　早期閉合の内圧効果により，内空側へのトンネル変位は抑制され，背面の軟質地山の半径方向地中ひずみは圧縮されるので，ロックボルト軸力は，全測線で圧縮力が発生し，左SL部で最大65kNになる．

4-2-2　本坑工事

（１）　施工方法

避難坑工事同様に，高耐力支保構造を採用している(**図-16，表-4**)．断面閉合の施工単位は３ｍとし，上半切羽から７～８ｍの範囲内で，上・下半３ｍ進行ごとに断面閉合する補助ベンチ付き全断面掘削である(**図-17**)．

（２）　施工状況

蛇紋岩と主断層破砕帯区間の開始測点と規模，土かぶり厚と地山性状および計測工B断面位置を，**表-5**にまとめて示す．

蛇紋岩①の施工では，先行避難坑での分布幅は小規模であったので，圧縮強度18N/㎟のDⅡ-1で施工した．この以奥の中規模，大規模，主断層破砕帯では，蛇紋岩①の支保構造部材に高い軸応力が発生したので，DⅡ-2で施工した．粘土状の蛇紋岩①では，切羽の自立度は高かったので，先受け工なしで施工した．蛇紋岩②，③と主断層破砕帯では，それぞれ延長18m，99m，63m間で注

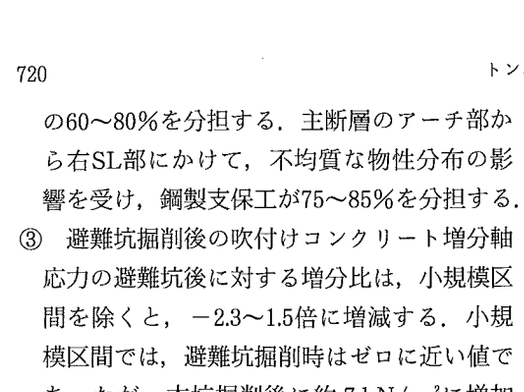


図-16　本坑支保パターン(DⅡ-2)

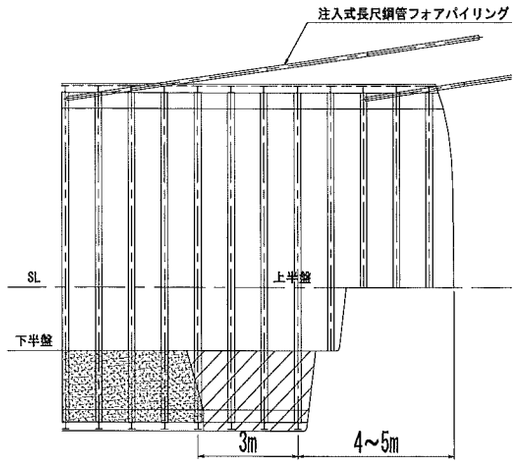


図-17　本坑掘削方法

表-4　本坑支保構造仕様(蛇紋岩・主断層)

断面区分		DⅡ-1	DⅡ-2
葉片状・粘土状規模		小規模	中・大規模，主断層
地山強度比		1.0 ≦	＜1.0
1掘進長		1.00m	1.00m
変形余裕量		10cm	10cm
支保・閉合	吹付け厚（圧縮強度）	25cm (18N/㎟)	25cm (36N/㎟)
	鋼製支保工	H-200(SS400)	
	ロックボルト本数	上・下半19本(L＝4m)，170kN	

表-5　蛇紋岩・主断層破砕帯規模と性状(本坑)

岩種区分	蛇紋岩①	蛇紋岩②	蛇紋岩③	主断層破砕帯
断面区分	DⅡ-1	DⅡ-2	DⅡ-2	DⅡ-2
開始測点	No.427 +1	No.439 +8	No.443 +6	No.458 +0
規模（幅）	小規模 (25m)	中規模 (38m)	大規模 (294m)	大規模 (76m)
土かぶり厚	133m	126m	98m	71m
地山性状	粘土状	粘土状	葉片状	粘土状
計測工B断面	No.427 +11	No.439 +19	No.447 +8	No.460 +13

入式長尺先受け工(アーチ部120°に29本)を採用し，切羽の安定を確保しながら施工した．また，主断層は粘土状蛇紋岩の中に出現し，硬軟差を有する多種の岩盤が混じりあい分布する不均質な混成岩を呈している．大規模蛇紋岩③と主断層破砕帯区間の施工延長は約370mであり，この掘削に約６か月を要し，月進行は約62mであった．早期閉合施工状況を**写真-2**に示す．

（３）　本坑挙動特性

蛇紋岩と主断層破砕体区間に設けた計測工B断面位置でのトンネル変位の収束時最大値を，この直近の泥質片岩のものとともに，**図-18**に示す．これから，以下のことがわかる．

①　中規模・大規模蛇紋岩区間では，連続して早期閉合が行われているので，天端沈下，内空変位ともに，泥質片岩区間(ＤⅠ)と同等レベルに抑制され，10㎜以下の天端沈下，25㎜以下の内空側への内空変位となり，変形余裕量100㎜の範囲内で収束する．

②　主断層破砕帯区間では，不均質な地山物性

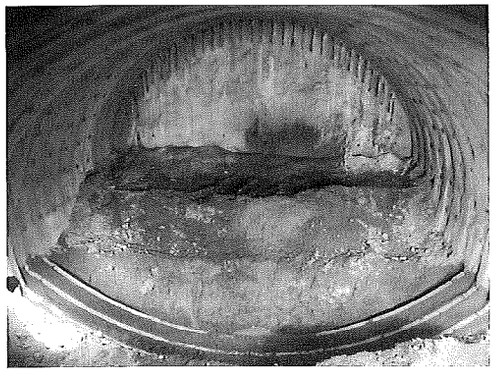


写真-2　本坑早期断面閉合状況

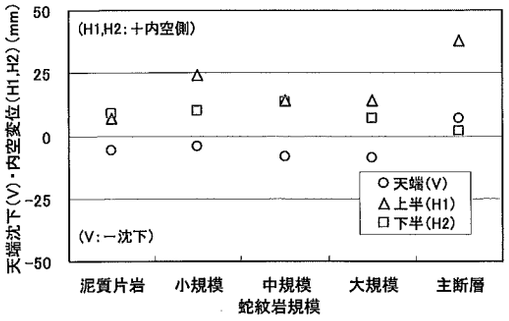


図-18　変位の収束値(本坑)

分布の影響を受け，天端部は７㎜上方向に変位し，内空変位は38㎜内空側に変位する．

（４）　本坑支保効果

吹付けコンクリート軸応力を**図-19**に，鋼製支保工縁応力を**図-20**に示す．吹付けコンクリート軸力を支保部材発生軸力で除した吹付けコンクリート分担率を**図-21**に，測線別ロックボルト軸力最小値を**図-22**に示す．これらから，以下のことがわかる．

①　吹付けコンクリート軸応力の最大値は天端部に発生し，12N/㎟の圧縮であり，圧縮強度36N/㎟の範囲内で安定する．SL部は，天

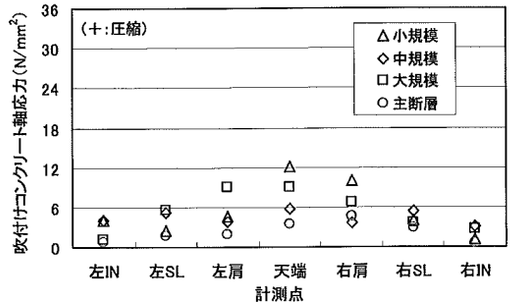


図-19　吹付けコンクリート軸応力

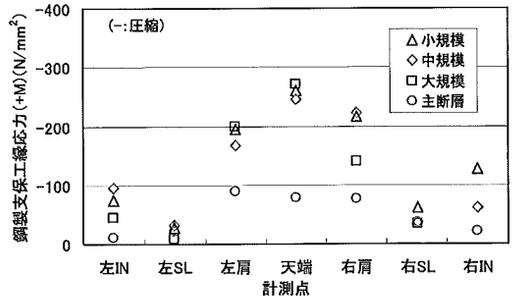


図-20　鋼製支保工縁応力(＋M)

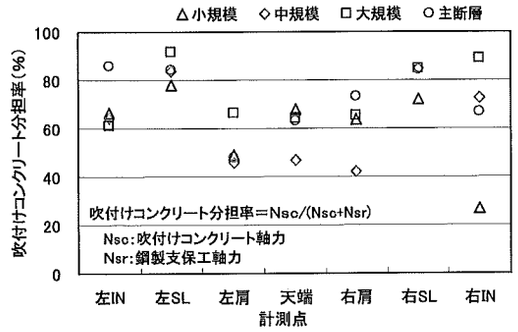


図-21　吹付けコンクリート軸力分担率

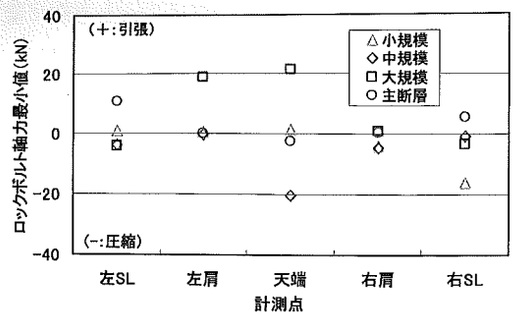


図-22　ロックボルト最小軸力

端部の0.2～0.8倍である．インバート部は，もっとも小さく発生し，1～4 N/㎟の圧縮である．

② 鋼製支保工縁応力の最大値は，降伏応力を超えて天端部に発生し，270N/㎟の曲げ圧縮となっている．

③ 吹付けコンクリートは，トンネル支保構造体に発生する軸力の65～85％を分担し，主要支保部材として機能する．

④ 測線別ロックボルト軸力の最小値は，中規模の天端部測線で21kN，小規模右SLで16kNの圧縮となり，蛇紋岩分布規模にかかわらず，早期閉合による内圧効果により，1～5 kNの圧縮力が発生する．

4-2-3　力学パラメータ照査

（1） 本坑支保耐力

粘土状，葉片状蛇紋岩は，地山強度比は0.7程度と低く，脆弱であるので，掘削影響域（H：掘削影響が及んだ範囲）の土かぶり相当の土圧としてH＝60mを想定[1]し，厚肉円筒理論解を用いて本坑支保耐力を算定した(図-23)．これをもとにして，吹付け厚25cm，圧縮強度36N/㎟の高耐力支保構造を設計し，早期閉合で施工した．その結果，吹付けコンクリート軸応力の最大値は，これの約1/3の12N/㎟が発生し，支保構造体の力学的安定は確保できた．また，本坑掘削影響域として，掘削面から約20m以深に及ぶことが推察された．

（2） 本坑掘削影響域

早期閉合で施工した脆弱な蛇紋岩における先行避難坑への後行本坑掘削影響は，本坑と避難坑のトンネル中心間距離は約25m離れているが，避難坑吹付けコンクリート軸応力の経時変化に顕著に現れた(図-24)．これから，以下のことがわかる．

① 本坑掘削影響は，本坑切羽が避難坑計測工B断面の前方140m位置に近づくと現れはじめ，SL付近測点のものを除くと，本坑切羽通過時に最大値を示し，避難坑施工時の約2倍の9 N/㎟に増加する．本坑切羽通過後は，吹付けコンクリート軸応力は減少しながら収束傾向を示し，本坑切羽が400m進むと収束する．

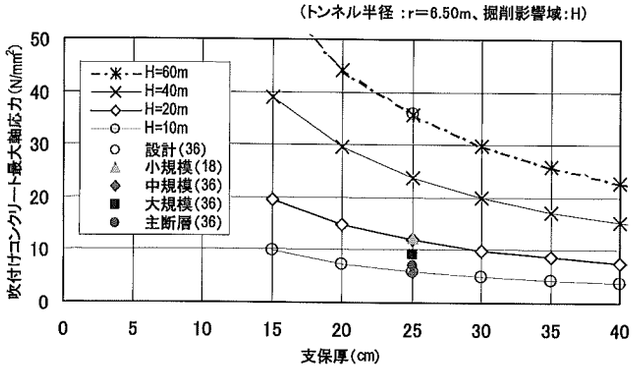


図-23　必要支保耐力と吹付けコンクリート最大軸応力

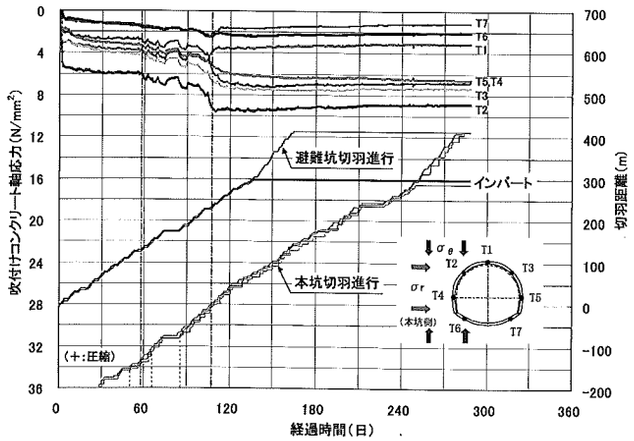


図-24　吹付けコンクリートの軸応力経時変化(避難坑，大規模)

② 本坑周方向地中応力場（σ_θ）と同方向の避難坑両肩（T2, T3）とSL部（T4, T5）の吹付けコンクリート軸応力は，本坑掘削影響を大きく受け増加するが，本坑半径方向地中応力場（σ_r）と同方向の避難坑天端（T1）と両インバート部（T6, T7）では，増加傾向はみられない．

③ 本坑切羽通過後の避難坑吹付けコンクリート軸応力は，避難坑掘削時と同様の分布モードで推移し，避難坑周辺地山の物性分布に大きく支配される．

以上から，本坑掘削影響のひろがりは，本坑掘削面から深度約20m以深に及び，本坑支保構造体のグランドアーチ域は避難坑を含めて形成されることが示された．

5　おわりに

三遠トンネル（仮称）工事は，平成17年3月より鳳来工区避難坑の掘削を開始し，平成19年11月に貫通し，現在，本坑を鋭意施工中である．本トンネルの施工により，中央構造線と中央構造線擾乱帯の地質が明らかになり，懸念されていた塑性地圧などの問題も起きず，インバートコンクリートの早期施工による断面閉合で克服できた．大規模蛇紋岩が分布する引佐工区では，高耐力支保構造の早期閉合でトンネルの力学的安定確保をめざした結果，安全・確実な施工を行うことができ，さらにこれによる力学挙動特性が明らかになり，この施工方法の有効性が示された．

最後に，「三遠・佐久間道路施工検討委員会」（委員長：今田徹・東京都立大学名誉教授）の関係者の方をはじめ，多くの方に貴重なご意見をいただいたことをここに記して，感謝する次第である．

参考文献

1) 楠本太・恩田雅也・上岡真也：押出し性地山における大断面トンネルの力学パラメータに関する考察，土木学会第60回年次学術講演会，第Ⅲ部門，2005.9.

P.A.ドミニコ，F.W.シュワルツ著

地下水の科学　各B5判 全3巻

地下水の科学研究会　　大西　有三　監訳

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

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

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



明治時代の変状トンネル(4)
—神保小虎と牧ノ原トンネル周辺の地質調査—

(財)鉄道総合技術研究所
小野田　滋

■神保小虎のプロフィール

前回は，東京帝国大学教授の神保小虎が東海道本線・牧ノ原トンネル近傍の地質調査を行ったことについて触れたが，今回はこの神保の役割についてスポットをあててみたい．

神保小虎は(**写真-1**)，1867(慶応３)年閏５月17日に旧幕臣の神保長繁の長男として東京に生まれ，1887(明治20)年７月，帝国大学理科大学(現・東京大学理学部)地質学科を卒業し，大学院へと進んだ．翌年６月に大学院を退いて北海道庁に採用され，1889(明治22)年８月には技師となった．道庁では，雇外国人として北海道の炭鉱開発に活躍したアメリカ人地質学者ベンジャミン・スミス・ライマン(1835～1920)の弟子で，北海道庁技師であった坂(ばん)市太郎(1854～1920)との間で北海道の地質をめぐって論争を展開し(いわゆる「神保-坂論争」)，独自に「北海道地質報文」をまとめるなど頭角を現した．

1892(明治25)年７月には，道庁を辞してドイツのベルリン大学へ私費留学し，帰路は鉄道全通以前のシベリアを横断してアムール川流域の地質調査などを行い，1894(明治27)年11月に帰朝した．帰国後，ただちに東京帝国大学理科大学助教授に任ぜられ，地質学，古生物学，鉱物学を担当した．翌年6月には理学博士の学位を授与され，さらに

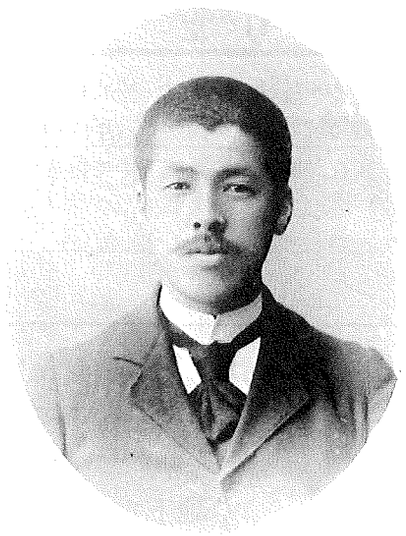


写真-1　神保小虎(1867～1924)

1896(明治29)年７月に教授に昇進した．以後，設立されたばかりの鉱物学教室の初代教授として，地質学や鉱物学に関する教科書や啓蒙書を多数執筆したほか，東京地質学会(現・日本地質学会)会長を務めた．また，アイヌ語に関する造詣も深く，『アイヌ語会話字典』(金港堂書店・1898)などを著したが，1923(大正12)年に体調を崩して東京帝大病院へ入院し，翌年１月18日に56歳で永眠した．

■神保小虎と土木地質

神保小虎は，ライマンや坂市太郎が広めた資源

開発を目的とした実学としての地質学に対し，自然科学としての理学的な地質学に根ざした人物として評価されているが，これはライマンの高弟であった坂と，ドイツ人地質学者で東京帝国大学教授であったハインリッヒ・エドムンド・ナウマン(1854～1927)の高弟であった神保の立場の違いによるものと解釈されている．

しかし，神保は決して「象牙の塔」としての地質学のみをめざしていたわけではなく，むしろ地質学が資源開発以外の工学分野(とくに今日の防災地質と呼ばれる分野)にも役立つことを喚起し続けていた．とりわけ，牧ノ原トンネルの変状が問題となった明治30年代は，「山崩れ」「押し出し」「地割れ」といった地質現象を全国規模で調査し，災害におよぼす地形・地質の影響について考究を深めていた．

また，1922(大正11)年には，東京地下鉄道(現・東京地下鉄)の依頼により，「東京地下鉄道会社工事に関する地質学上の意見」と題した所見をまとめ，わが国最初の地下鉄道の実現にも寄与した．こうした業績は，地質学，鉱物学，地学教育などに果たした神保の役割に比べて，ほとんど注目されていなかったが，その再評価が待たれるところである．それでは，牧ノ原トンネルにおける神保は，地質学者としてどのような役割を果たしたのだろうか？

■牧ノ原トンネルと神保小虎

逓信省鉄道作業局は，1901(明治34)年９月に発生した牧ノ原トンネルの変状調査とその対策を検討するため，「調査会」を設けたことは前回紹介したとおりであるが，神保はその委員の１人としてこれに参加することとなった．そして，往復の移動日数を除く延べ27日間にわたって現地踏査を行い，その結果を報告書にまとめて1902(明治35)年２月に逓信省に提出した．

報告書は，のちに「遠江牧ノ原隧道四近の変動地」と題して『地質学雑誌』に２回にわたって掲載されたが(No.111(1902)，No.112(1903))東海道本線の金谷駅近辺を中心として，現在の牧之原

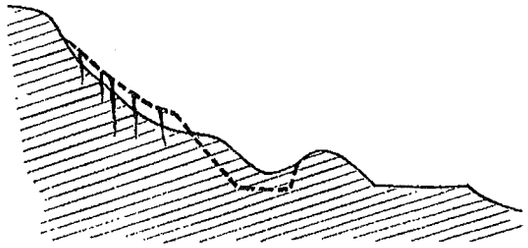


図-1　持淵山付近の横断面図(神保・1903)

市，島田市，掛川市，藤枝市など，被害地域とその周辺を広範囲に踏査していたことが理解できる．そして，「地割れ」「段違い」「陥落」「押し出し」「隆起」などの微地形や，古老の話(特に安政大地震の痕跡)を調査して，この地域の地形・地質の特徴を記述した．**図-1**は，金谷駅と大井川の間にある持淵山付近の線路横断面図を示したもので，鉄道敷設時の地形(破線)が，その後の地盤の変動によって北側に移動し(実線)，線路も付け替えなければならなかったとしている(神保は，石垣や斜面の痕跡から旧線跡を認めたようである)．

神保は，「山梨，静岡，石川三県下の地割れと山崩れ」(『地質学雑誌』No.93(1901))，「土木工事ト山崩レ」(『工学会誌』No.252(1903))でも牧ノ原トンネル近傍の地質について言及したが，トンネルの変状現象と地質との因果関係についてはほとんど触れられておらず，神保の興味の対象がもっぱら周辺の地形・地質の把握にあったことが推察される．神保は，鉄道作業局の技術者に向けて，「質問事項」と題した「地変」(地盤の変動現象)に対する一種の調査マニュアルを作成していたとされるので，土木構造物と地質とのかかわりに対して，決して無関心ではなかったと考えられるが，これが理学的な地質学をバックグラウンドとしていた神保の限界だったのかもしれない．

鉄道作業局では，笹子トンネルや丹那トンネルなどの工事に際しても，東京帝国大学や地質調査所といった外部機関に地質調査を依頼していたが，その成果が実際の工事に反映された形跡はほとんどなく，土木工学と地質学の間の溝が埋まるのは，神保の死後の昭和初期まで，なおしばらく待たなければならなかったのである．

現場だより

平成20(2008)年

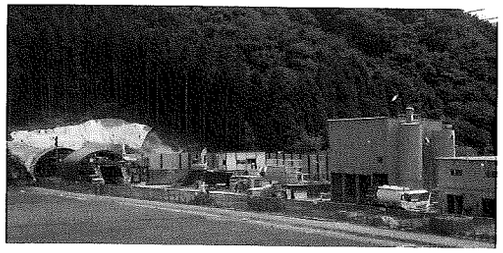
「手つかずの山と川のあるふれあいの里」いわき市三和町より

髙　野　浩　司

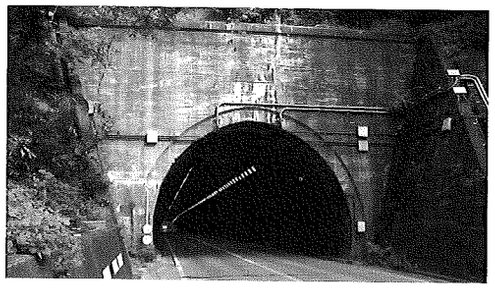
福島県いわき市は，昭和30年代，本州最大の規模を誇った常磐炭田があり，そこで採掘された石炭は，常磐線を経由して大消費地である東京方面に送られ，日本経済を支えた．しかし，エネルギー革命により石炭から石油へと変化を遂げ，石炭産業は衰退していった．その最中，炭鉱で湧き出した温泉を活用し，テーマパーク『常磐ハワイアンセンター』(現在のスパリゾートハワイアンズ)が誕生し，石炭のまちは活気を取り戻した．この閉山前後を描いた映画『フラガール』が注目の的になり，全国的に知名度があがった．

いわき市の西北部に位置する三和町は，いわき市の面積(1231.34km²)の約6分の1を占める広大な面積を有しており，平坦地が少なく林野が多いため，いわき市の貴重な水源地帯の役割を果たしている．三和町の東端には標高735mの水石山があり，そこの展望台からはいわき全域をはじめ太平洋まで見渡せるパノラマが広がっている．また，西端にある標高819mの芝山は「ふくしまの遊歩道」にも選出され，芝で覆われた頂上ではキャンプやハイキングを楽しむことができる．北部に位置する差塩(さいそ)地区には，天然記念物に指定されている「差塩湿原」があり，氷河時代の生き残り(残存植物)といわれる「ミズカシワ」など貴重な植物が生息している．この緑豊かな三和の里を訪れてみてはいかがでしょうか．

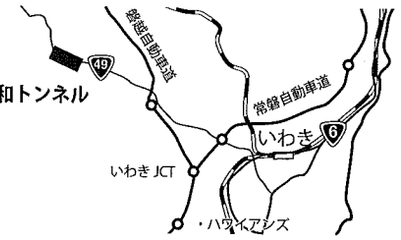
さて，本工事路線である国道49号は福島県いわき市と新潟県新潟市を結ぶ総延長約L＝241.3kmの主要幹線道路であり，磐越自動車道と並行する路線として高規格道へのアクセス，代替路線機能を果たしている．現在，国道49号のいわき市三和町渡戸と中寺の間には，昭和37年に施工された「三和隧道」がある．このトンネルは山の中腹に坑口がありトンネル前後は両方向とも急な坂道となっているため冬期には追突事故が多発しており，老朽化，通行障害などの問題も抱えている．「一般国道49号三和トンネル工事」は，これらの問題を解消し，主要幹線道路としての機能強化を図り，周辺地域の開発促進，物流交通支援を目的として，延長743mの2車線道路トンネルを施工するものである．



終点側坑口部　全景



三和隧道　郡山側坑口



位　置　図

平成20年4月から掘削を開始し，平成20年7月末時点の進捗は掘削250m，インバート105mとなっており，8月中旬からは覆工も開始し年内貫通を目標とする．『今日も一日あかるく元気にものづくり』のスローガンのもと，チームワークを主体に明るい作業環境を目指し，平成21年3月の竣工に向け，地元のご理解とご協力を得，発注者のご指導をたまわりながら，作業所職員および協力業者全員が一丸となって無事故・無災害での完工を目指す．

最後に，本工事はホームページを公開しております．是非のぞいてください．

http://miwa.tunnel-work.com/index.html

(清水建設(株)一般国道49号三和トンネル作業所所長)

施工

四つ橋線直下のシールド掘進と上部連絡通路の施工

—中之島線　第3工区—

中之島高速鉄道(株)計画部係長　西　村　幹　夫
京阪電気鉄道(株)中之島新線建設部主任　定　藤　誠一郎
大成・戸田・鉄建・熊谷共同企業体作業所長　山　下　　剛
大成・戸田・鉄建・熊谷共同企業体工事課長　天　野　健　次

1　はじめに

中之島線は，この地域における鉄道ネットワークの充実と，中之島西部地区再開発の進展に伴い発生する交通需要に対応するため，中之島西部の玉江橋付近から京阪本線天満橋駅に至る延長約2.9km(4駅を新設；図-1参照)の路線で，全線地下に建設される[1]．これより，国際文化都市京都と都市再生地域中之島を直接的に結ぶことが可能である．

鉄道施設の建設・保有は，京阪電気鉄道(株)と大阪府，大阪市などが出資する第三セクターの中之島高速鉄道(株)が行い，列車の運行は京阪電気鉄道(株)が線路使用料を支払って行う．

本稿は，この事業のうち，近接する地下鉄四つ橋線の下部をシールド掘進し，その後その上部を掘削する工事を行った，第3工区について報告するものである．

2　工事概要

2-1　地下鉄四つ橋線交差概要

第3工区は，渡辺橋駅部の構築(開削工事)と大江橋駅までの線路部の構築(シールド工事)を行った．工事概要を表-1に示す．

また，付帯工事として，渡辺橋駅東部から中之島地下街への連絡通路を開削工事にて施工した．

四つ橋線交差部のイメージを図-2に，図-3, 4に各断面図を示す．

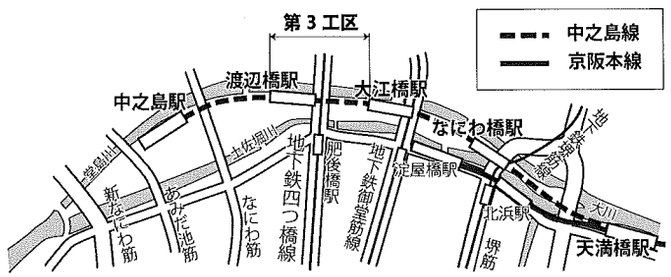


図-1　中之島線概要図

表-1　工事概要

全延長	490m
渡辺橋駅部	延長175m
幅	：16.8～17.1m(一般部)
	：20.4～21.0m(立坑部)
深さ	：22.6～24.2m(一般部)
	：25.3～28.0m(立坑部)
線路部	延長315m×2本
	シールド外径：φ6,850㎜
出入口工	1式
建築工	1式

地下鉄四つ橋線は，昭和40年にオープン潜函工法にて施工され[2]，その函体間はRC造で後施工し，接合している構造となっている．

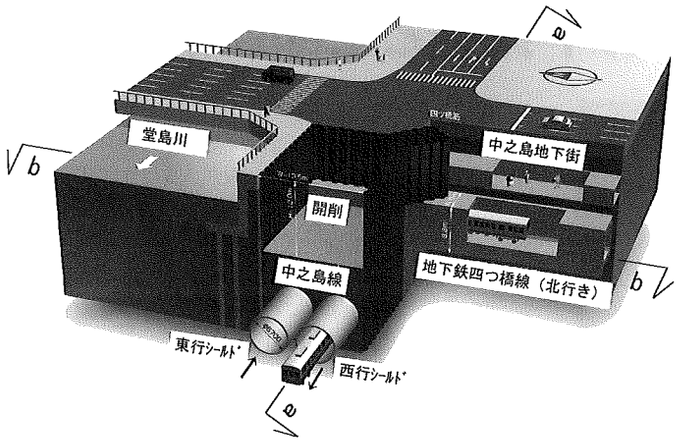


図-2　イメージ図

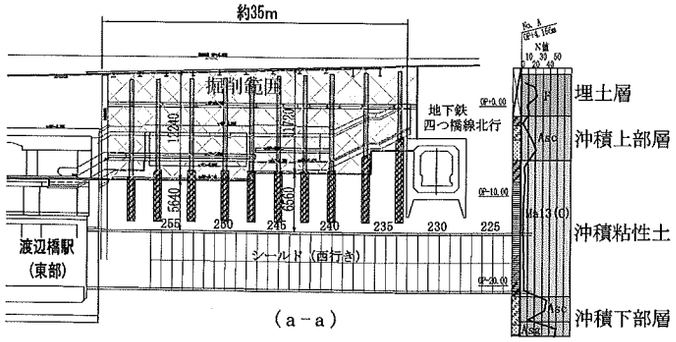


図-3　連絡通路断面図

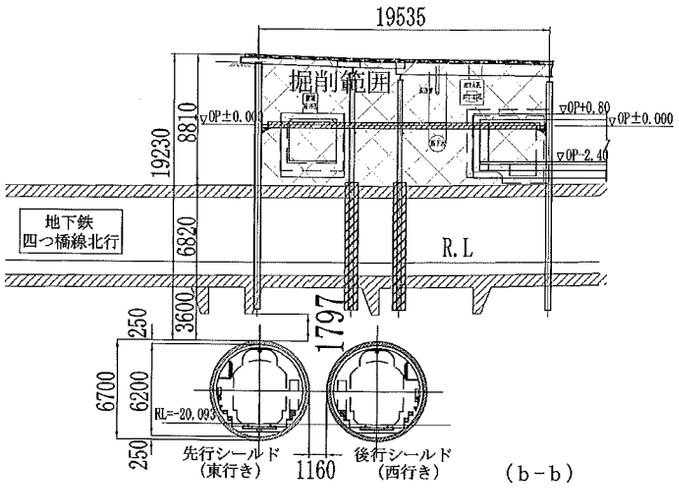


図-4　四つ橋線側面図

渡辺橋駅構築後，シールド(外径φ6,850㎜；泥土圧式)を東側に向かって発進し，四つ橋線下部(離隔約1.8m)を通過した．その後渡辺橋駅へ戻るためUターンし，再度四つ橋線下部を通過した(シールド双設，離隔1.2m)．シールド工事完了後は，渡部橋駅と四つ橋線上部に存在する中之島地下街を接続するため，駅東端部より開削工事で掘削した(最終掘削深さ12m，最大掘削幅19m)．そのため，四つ橋線の上部および側部を掘削する施工となった．

2-2　地質概要

施工基面より深度10.0mまでは，埋土層・沖積上部層の砂質土層であり，その下位の沖積粘性土層(Ma13層)については，N値 1～5 の軟弱粘性土で，層厚15.0m程度と非常に厚く存在している．沖積下部層(Asc層：粘性土，Asg層：砂質土)は層厚や傾斜方向が安定せず，変化に富んでいたが，四つ橋線下部通過までの土層はほぼ一様であった．なお，地下水位については，自由水がGL－4.0m付近，被圧水(Asg層)がGL－2.0m付近に存在した(図-3参照)．

3　施　工　計　画

図-4に示すとおり，四つ橋線潜函の刃口がシールド施工時に近接する状況となっている(離隔1.8m)．潜函下部は，軟弱粘性土で支持されており，シールド掘進における沈下(とくに後続沈下)，および上部掘削による隆起に対してその安全性を検証し，管理値を設定して施工を行った．

3-1　シールド施工

3-1-1　シールド仕様

本工事は泥土圧式シールド工法を採用し，カッタフェイスはスポーク式とした．

また，掘削残土は配管にて地上プラントまで圧送する土砂圧送方式とし，裏込め注入方式はテールボイドの充塡性に適しているシールドからの同時裏込め方式を採用した[3]．

地下鉄四つ橋線直下には地下鉄施工時に使用した土留め用の残置杭の存在が確認されていたため，事前に十分な調査，撤去工事を実施するとともに，路線線形も若干変更するなどシールド掘進に支障しないように計画し，さらに地下鉄直下の残置杭に対する不確定要素の対策として，強化先行ビットを配置したり，スクリュー先端部をリボン式にするなど障害物対策を実施した(**写真-1**)．

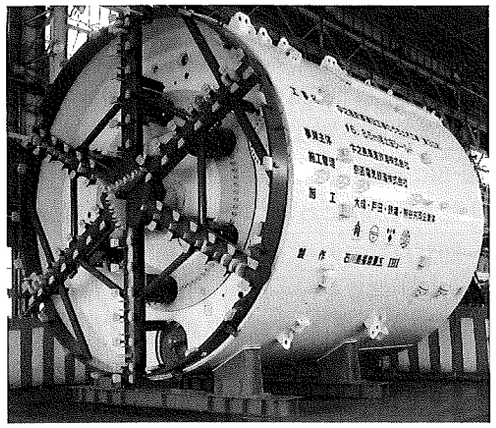


写真-1　シールド全景

3-1-2　掘進管理計画

当工事では，先行する東行きシールドが発進してから約35mで地下鉄四つ橋線の直下を離隔1.8mで通過することから，営業中の地下鉄函体への影響を最小限にとどめるため，事前に最適な掘進管理基準を策定しなければならなかった．このため発進してすぐのこの非常に短い区間でトライアル掘進(2断面)を行った．**図-5**に初期トライアル掘進断面図を示す．

当工区のシールド掘進土層は，渡辺橋駅付近が沖積粘土層(Ma13)主体で，大江橋駅付近が沖積下部層(Asc)主体となっている．この掘削土層条件および地下鉄四つ橋線との交差などの施工条件を考慮し，掘進管理については以下の考え方で行うこととした．

(1)　掘進速度

トライアル掘進位置では初期掘進中であるため，掘進速度を20～30㎜/分程度とした．

(2)　切羽管理土圧

切羽土圧の設定値を**表-2**に示す．

トライアル①については，周辺地盤への影響を抑えるため，やや低めの土圧を切羽管理土圧値とした．また，トライアル②については，主働土圧と静止土圧の中間値を用いて，切羽管理土圧とした．その切羽土圧はチャンバ内，上(1か所)，中

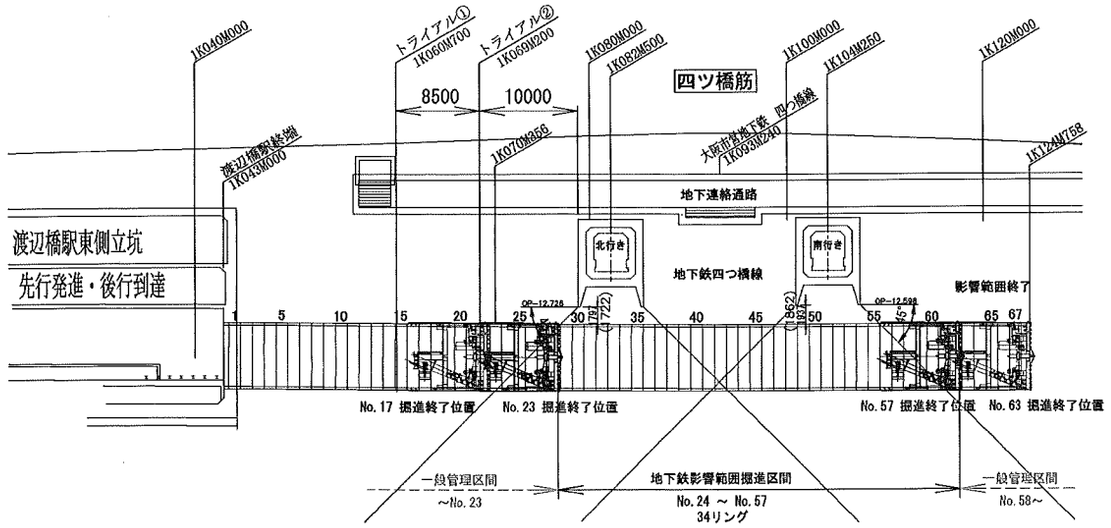


図-5　トライアル掘進断面図

（2か所），下（1か所），計4か所の土圧計により管理した．

（3）　余掘り部充填材

地下鉄影響範囲掘削区間については，シールド直上地盤の緩み防止を目的に掘削外径とシールド外径の余掘り部分に充填材（塑性流動化ゲル）をシールド内から注入した．

この際，地山に過大な圧力がかかることを避けるため，切羽管理土圧＋20～30kPaを注入管理圧力値として圧力管理により注入した．

表-2　各トライアル計測断面における切羽土圧の設定値

単位：kPa

計測断面	トライアル①	トライアル②
設定値	主働土圧＋水圧＋予備圧(20) (206≒210)	(主働土圧＋静止土圧)/2＋水圧＋予備圧(20) (245≒250)
上限値	設定値＋20	設定値＋20
下限値	設定値－20	設定値－20

表-3　各トライアル計測断面における裏込め注入圧の設定値

単位：kPa

計測断面	トライアル①	トライアル②
設定値	鉛直土圧－50 (280)	鉛直土圧 (329≒330)

（4）　裏込め注入

裏込め注入は，エアー系の2液可塑状材料をシールドに装備した同時注入管より注入した．注入管理は圧力管理を主体に行うが，目標注入率（注入流量）の設定を対象地盤を粘性土として120%とした．なお，裏込め注入口に隣接した土圧計により，地山での土圧を測定して管理した．

同様土質（Ma13層）の先行工区における掘進実績より，対象のMa13層は，テールボイド発生時において全土かぶりに相当する裏込め注入圧が必要だという知見が得られた．

よって，トライアル①は鉛直土圧よりやや低い圧力（鉛直土圧－50kPa）での注入圧管理とし，粘性土層への影響を極力小さくする計画とした．また，トライアル②では，そのレベルでの鉛直土圧（全土かぶり）329kPaを採用した（表-3）．

3-2　連絡通路施工

図-6に土留め壁工計画平面図を示す．四つ橋線の上部を約20mにわたり開削する．その開放率は，20～80%程度であり，平均して約50%程度の上部荷重の応力開放を行った．

3-2-1　土留め壁構造（建て込み杭ほか）

一般部の土留め壁芯材は鋼矢板を使用した（V

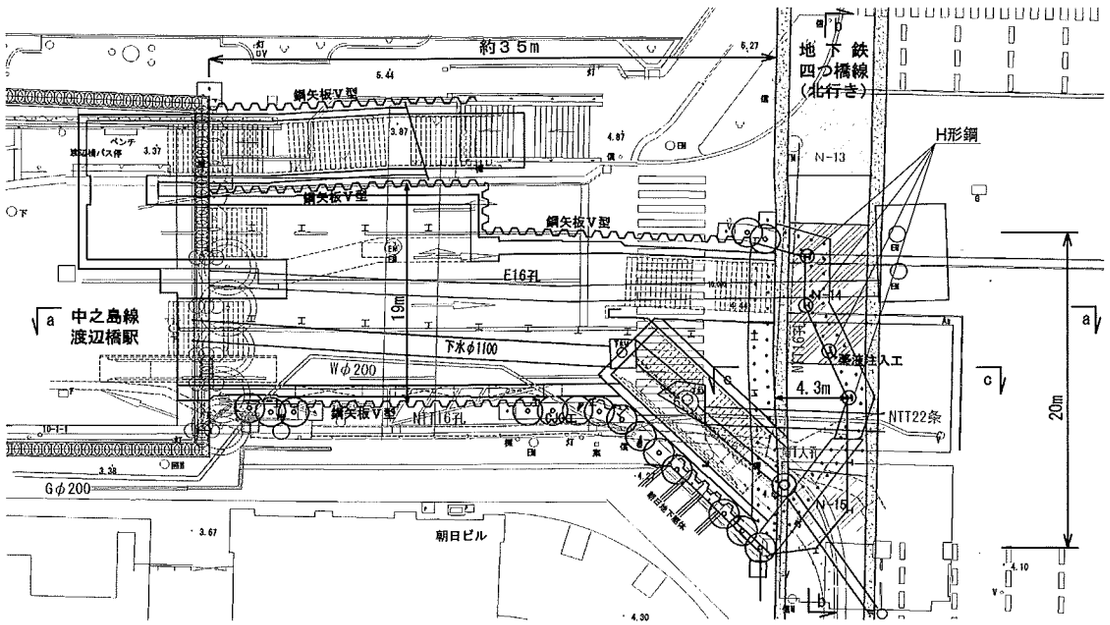


図-6　土留め壁工計画平面図

型，平均L＝15m）．四つ橋線上部の土留めはH形鋼材（H-300）をその躯体上部に固定し，それを親杭横矢板とする土留めとした．また，土留め背面側は薬液注入を行って止水土留め壁とした．

3-2-2　遮水構造

交差点部であるため地中埋設管が存在し，土留め欠損部防護が必要であった（図-6参照）．欠損防護としては，高圧噴射攪拌工法と薬液注入工法を併用して施工した．また，四つ橋線づたいに地下水のまわり込みが予想されたので，地下鉄躯体側面部は開削全域にわたって止水注入を行った（図-7）．

注入工法としては，低吐出，低圧施工が可能で確実な止水効果が期待でき，かつ施工後の追注入が可能である，ダブルパッカー工法を採用した．

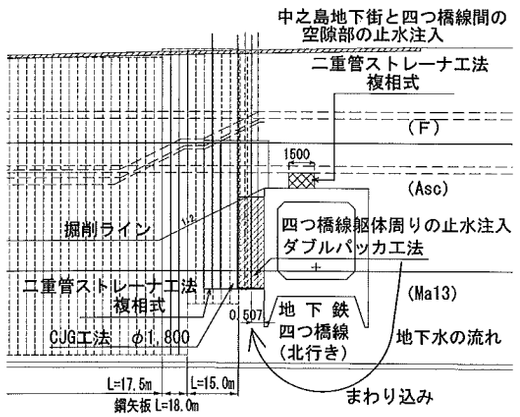


図-7　止水注入断面図（C-C）

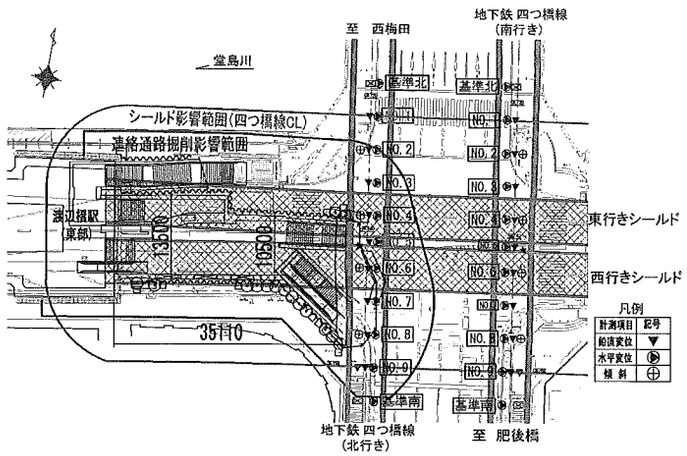


図-8　地下鉄四つ橋線計測平面図

3-3　計測計画

図-8に四つ橋線構造物内計測の平面位置図を示す．計測は，鉛直，水平そして傾斜について行った．また近接する堂島川の影響をより正確に判断するため，影響線外の河川領域内と，陸側の2点に基準点を設けた（各工事における影響線も示す）．なお，鉛直方向は，水路式鉛直変位計を用いて計測した．

4　事前解析

解析フロー図（図-9）に示すとおり，シールド施工時と連通路施工時について，四つ橋線躯体の安全性を検証した．

ここで，四つ橋線は図-10に示すとおり，潜函構造であり，各部は後打ちのコンクリートにより結合されている．よって，四つ橋線躯体は，連接した剛体と仮定して梁ばねモデルによる方法を採

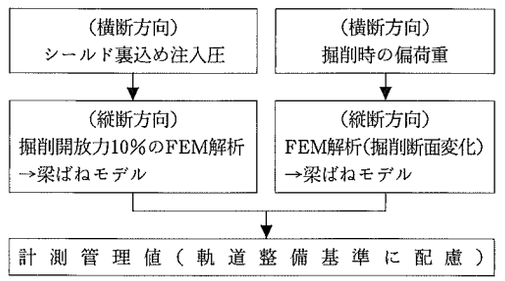


図-9　解析フロー図

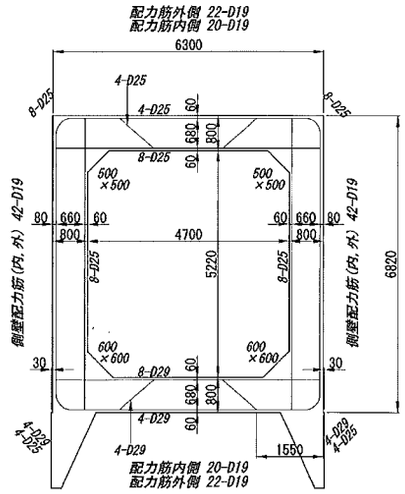


図-10　函体断面図

用した．

4-1　シールド影響解析

横断方向は，シールド裏込め注入圧が下床版すべてに作用しないため図-11に示す極端なモデルを考え，安全側の検討を行った(許容割増しを30％として応力度照査を実施した)．ここで，推進力または裏込め注入圧の影響荷重としては，推進力の付加推力が通常10～30kPa程度であるため，大きめの沈下が発生する10kPaを採用した．

縦断方向の解析は，2次元FEM弾性解析による地盤変状予測を行った．先行シールド掘進および後行シールド掘進ステップを取り入れ，各施工時においては，シールド裏込め注入圧を作用させた．解析定数の設定は，類似地盤での施工実績にもとづいた大阪市交通局の方法を採用した(掘削開放率10％，変形係数；砂質土 $E=7{,}000+500N$ (kN/m²)，粘性土$E=210C$(kN/m²))．上記により算出した変形量に周辺地盤ばねを乗じて荷重を算出し，四つ橋線を縦断方向梁にモデル化した弾性床上の梁ばねモデルで，その安全性を検証した(応答変位法)．

4-2　連絡通路影響解析

横断方向は，建て込み杭の鉛直荷重(覆工荷重)と掘削側土圧を低減したモデルを用い，掘削する分の上載荷重を徐荷し，安全性を検証した(図-13)．

縦断方向の解析は，まず上載荷重徐荷位置の断面において，横断方向の2次元FEM弾性解析を行い，四つ橋線軌道位置での鉛直および水平変位を算出した(掘削時および埋め戻し時を配慮；図-14)．

その後，梁ばねモデルで，その安全性を検証した(応答変位法)．ここで，上部荷重徐荷に伴う隆起の鉛直方向影響範囲は，大阪地盤の特性によると[4]，近接の堂島付近では，根切り底からの深さと掘削幅との比は0.6程度であるため，この値を用いてFEM解析の下方境界深度を決定した(約13m)．

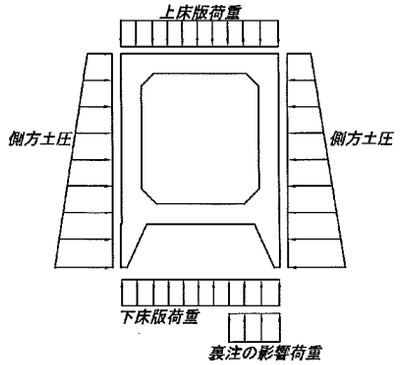


図-11　解析用荷重モデル(シールド施工時)

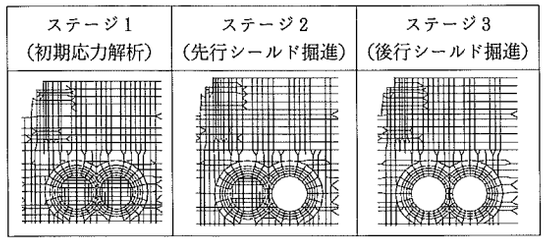


図-12　FEM解析ステップ(シールド施工時)

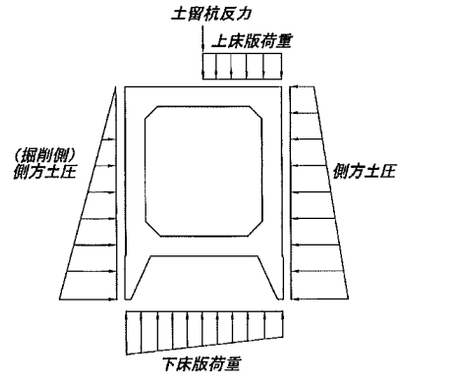


図-13　解析用荷重モデル(連絡通路施工時)

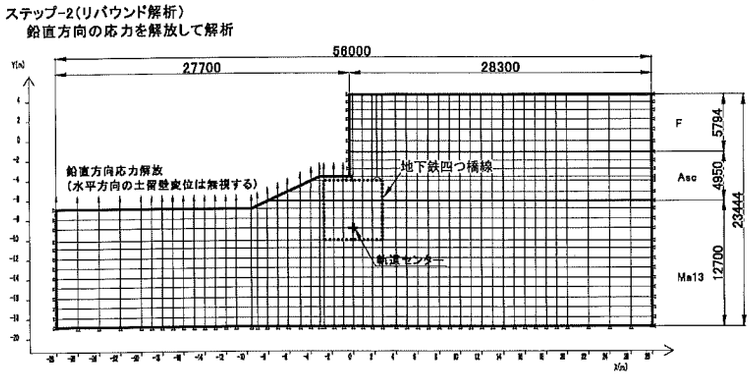


図-14　FEM解析(連絡通路施工時)

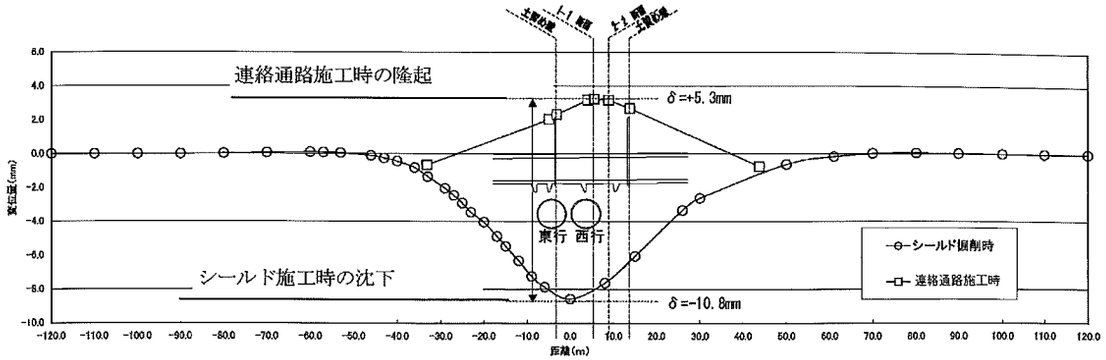


図-15　変形モードと計測管理値

表-4　地下鉄四つ橋線に対する計測管理値

	構造物部材耐力上の安全性			列車走行上の安全性
	絶対変位量			相対値
	鉛直変位(mm)		水平変位(mm)	変形角(rad)
	隆起	沈下		
一次管理値	2.7	5.4	3.6	0.7×10^{-3}
二次管理値	4.0	8.1	5.4	1.1×10^{-3}
管理基準値	5.3	10.8	7.2	1.4×10^{-3}

4-3　計測管理値の設定

シールド影響および連絡通路影響解析で算出された変位量をもとに計測管理値を算定した．また，列車走行上の安全性を確保するため，大阪市交通局の定める軌道整備基準にも配慮した(軌道狂いのうちの高低狂い・通り狂いに着目；表-4)．

図-15に四つ橋線縦断鉛直方向の施工時における変形モードと計測管理値(管理基準値)を示す．これにより，四つ橋線躯体の耐力上の管理値は，許容変位量をもとに決定することになる．これらの値は，解析上で予想されたモードでの許容変位であるため，変形モードが異なれば，許容される変位量は異なる．このため，実施工においては，発生した変形モードとそれに対する断面力を確認することで安全性を検証した．

5　実　施　工

事前解析の結果，シールド施工時における沈下量が，連絡通路施工時における隆起量に比べて相対的に大きいことから，とくに，シールド施工時におけるMa13層への影響を緩和することが重要であると判断した．

5-1　シールド施工

5-1-1　トライアル掘進計測結果

東行きシールドの地下鉄四つ橋線直下通過にあたり，事前に掘進管理基準を策定する目的で，トライアル掘進を行い(トライアル①・②)，この計測断面影響範囲下での掘進時の地盤変状のデータを得た．それぞれの傾向を下記に示す．

(1)　シールド位置と沈下傾向

図-16に示すように地表面，シールド直上8.6m，およびシールド直上1.0mの層別沈下計はトライアル①・②ともにシールド先端が影響範囲に入る前から沈下が生じ始め，シールド先端が計測断面手前1.0m～先端通過後2.0mの間に急激に沈下した．沈下量はシールドテール通過時にもっとも大きくなっていたが，通過後は一時回復する傾向が見られた．

これらの変状経過より，沈下は裏込め注入圧による影響を受け，掘進の進捗に大きく関係していることが判明した．

(2)　切羽土圧と沈下傾向

トライアル①での掘進では，当初計画の設定値210kPa(スプリングライン位置)での管理値にて掘進を行った．地盤の鉛直変位はどのレベルにおいても1㎜以下の変位であった(表-5参照)．

トライアル①で，切羽土圧を250kPaから210kPaに変化させたことによるシールド直上1.0mでの地盤鉛直変位の大きな変位は，計測結果から見

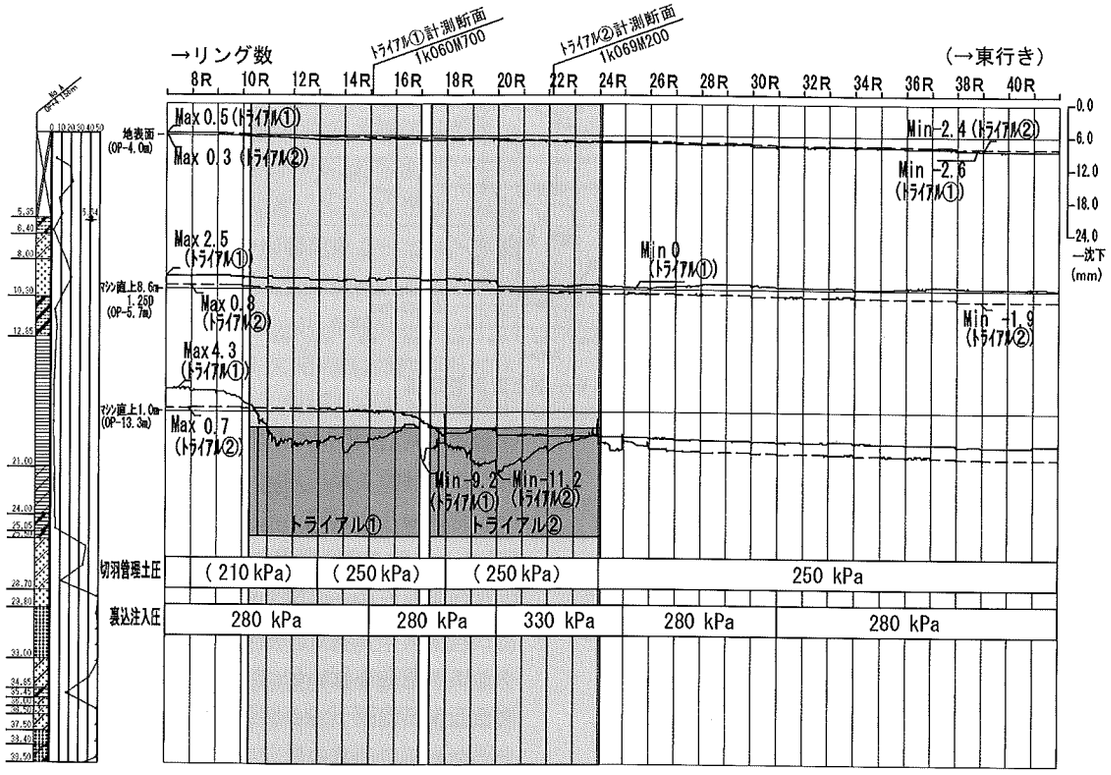


図-16　シールド位置と各トライアル計測断面における沈下傾向

表-5　各トライアル計測断面における切羽土圧と沈下傾向の関係

計測断面		トライアル①	トライアル②
切羽土圧		210kPa	250kPa
沈下量	OP −5.7m	1 ㎜	1 ㎜
	OP−13.3m	11㎜	11㎜

表-6　シールド通過時の地下鉄函体計測結果

時期 / 測点	東行きシールド通過時 H19.3月	西行きシールド通過時 H19.8月	H19.10月現在
鉛直変位（1分間間隔）	0.6～−0.7㎜（最大変動量1.3㎜）	−0.9～−2.2㎜（最大変動量1.3㎜）	−1.5～−2.3㎜（最大変動量0.8㎜）
備考	シールド通過後の後続沈下は収束しており，堂島川の河川水位変動による変動量(最大0.8㎜)を差し引くと地下鉄函体の変動量は1㎜以下となる		

られないため，当初計画していた中間値(250kPa)を地下鉄影響範囲設定管理土圧にした．

（3）　裏込め注入圧と沈下傾向

裏込め注入圧管理値は各測線をテールが通過する時点で，それぞれ変化させたが，沈下回復量はトライアル①(280kPa)で約5㎜(−13㎜→−8㎜)となった．

シールドテール通過後の計測結果より，鉛直土圧よりやや低い圧力設定で注入した方が側方変位に与える影響が小さかったため，280kPaを地下鉄影響範囲設定注入圧とした．

5-1-2　地下鉄四つ橋線直下通過結果

掘進リング東行きシールドNo.24～57(34リング)・西行きシールドNo.202～236(35リング)を四つ橋線の「地下鉄影響範囲掘進区間」と設定し(図-5参照)，平成19年3月13～17日にかけて東行きシールドが通過，平成19年8月2～6日にかけて西行きシールドが通過した．

鉛直変位は，先行の東行きシールド掘進に伴い，シールド直上に位置するNo.4測点(図-8参照)では，シールド近接に伴い0.2㎜程度の隆起が，シールド通過～平成19年3月末にかけて，0.7㎜程度の沈下が観られた．

後行きの西行きシールド掘進では，西行きシールド直上に位置するNo.6測点において，シールド通過～平成19年8月末にかけて，0.9㎜程度の沈下が観られた．表-6にシールド通過時の地下鉄函体計測結果を示す．また，図-17にNo.5の経時変化データ(双設シールド中心)を示す．No.4，No.6ともにNo.5と同様の傾向を示した．

このように，トライアル区間における結果を反映して設定した掘進管理基準により四つ橋線直下の掘進を行った結果，東行き，西行きともに地下鉄函体の変形量は後続沈下量を含めて1㎜以下と地下鉄函体にほとんど影響を与えることなく施工できた．これは，非常に軟弱な沖積粘性土中を掘進するうえで，初期掘進区間の中でトライアル計測に加え，周辺地盤への影響を最小限にするために，シールド後胴より余掘り充塡を行ったり，セグメント組み立て中に発生するシールドジャッキ操作によるシールドの姿勢変動も最小限に抑えるなど緻密な施工管理を行ったことも要因の一つと思われる．

5-2　連絡通路施工

シールド施工完了後，土留め壁を造成し，平成19年11月から掘削を開始，平成20年3月に四つ橋線付近の掘削工事を完了した．掘削工事中，欠損部および四つ橋線躯体まわりからの出水などはなく，地盤改良が十分に機能していた．

掘削にあたっては，プレロード工法を採用し，切梁設計軸力の80%を導入した．土留め壁より約4m離れた位置における地中水平変位量は，21.1㎜(図-18)であった．当該位置での土留め壁の設計変位量は38.9㎜であるため，離れに伴う変形量の減衰およびその変形モードから判断した場合，ほぼ想定どおりの側圧が載荷していたものと思われる．ただし，土留め壁の水平最大変位量が設計値44.8㎜に対し，その位置での発生変位量は20.4㎜であったことから，地盤ばねを若干安全側に評価していた可能性もある．

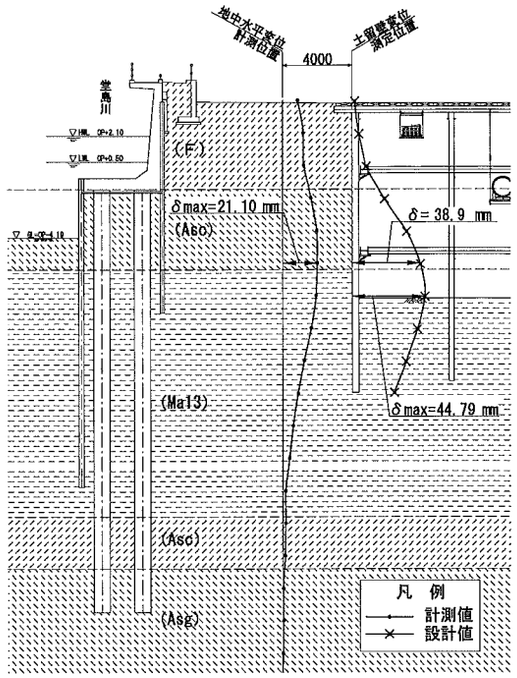


図-18　土留め壁変形モード

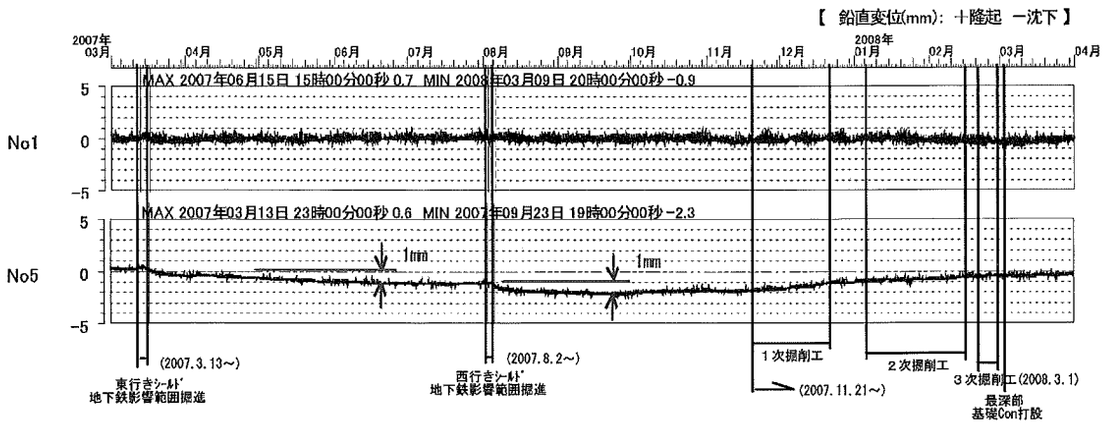


図-17　経時変化図

5-3　情報化施工

河川水位変動(No.1)および双設シールド間(No.5)の地下鉄函体鉛直データより河川水位変動(日平均1.5m程度)の影響を受けているものの，各シールド通過後の沈下量は，1㎜程度であり，合計2㎜の沈下量が計測された．また，11月21日より連絡通路工事による掘削が本格的に開始され，2008年3月1日において最終掘削を完了したが，ほぼ計測開始以前の状態となっている(図-17参照)．これは，他の計測データも同じような状況であった．水平，傾斜については，鉛直方向に比べその影響は微小なものであった．

上記より判断して，地下鉄四つ橋線に工事による影響を与えることなく，施工を行うことができた．これは，先述のシールド工事時における施工管理に加え，連絡通路施工時においても，剛性の高い土留め壁の構築および河川変動などにも着目した情報化施工の実施などを行ったことに起因する．また，四つ橋線自体の剛性が設定値より大きかったことなども要因の一つであったと考えられる．

5-4　河川変動による影響についての考察

シールド通過などの影響工事に先立ち，河川変動に伴う地下鉄函体の自然変動などを把握することを目的として，事前計測を実施した．

図-19にその主要データとして，四つ橋線北行き線の鉛直変位を示す．また，近接する感潮河川である堂島川の水位も併記する．

事前計測期間中，鉛直変位は一定の値で推移しているものの，日変動的な挙動が確認される．この変動は，河川水位との変動とよく一致していることから，河川潮位との相関関係図を作成した．**図-20**にもっとも変動の大きい測点(No.5)における相関図を示す．これより，潮位の上昇に伴い，四つ橋線函体が，沈下傾向となる関係が明確に表れた．相関係数も0.95以上の高い値を示した．

河川水位と地下鉄函体へ影響を与える要因としては，次のような現象が生じていると推測される．

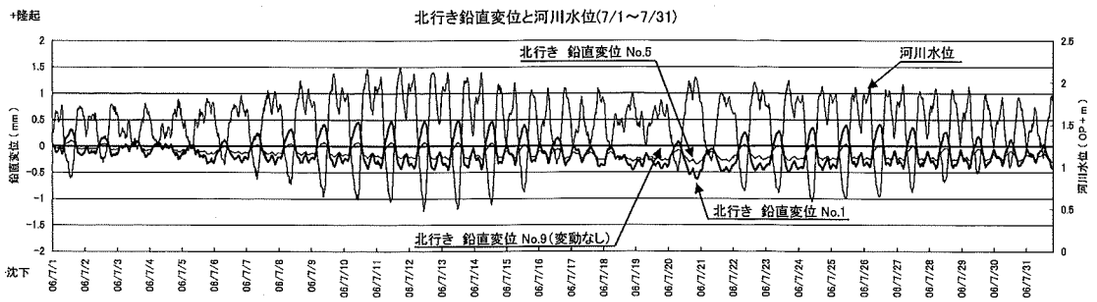


図-19　函体鉛直変位と河川水位

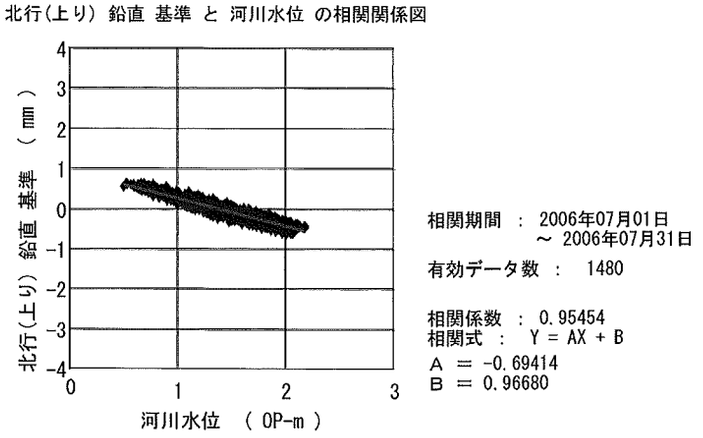


図-20　相関関係図

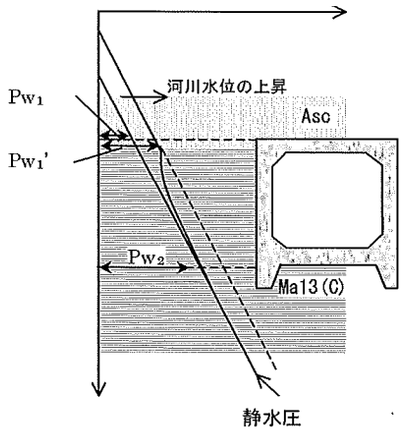


図-21　函体と地下水位の位置関係

図-21に地下鉄函体とその周辺の土層構成と地下水位の位置関係を示す．地下鉄は沖積粘性土(Ma13)の堆積する深度に位置する．四つ橋線上部の埋め戻し土の透水性は不明であるが，下部の帯水層Ascよりは透水性が低い状態にある．地下水位が静水圧分布しているとすると，天端でP_{w1}，下端でP_{w2}の水圧が作用し，浮力Uは，$U_1=P_{w2}-P_{w1}$となる．ここで，河川水位が上昇したとすると，上位の帯水層の水圧は同様に上昇する．しかし，下端付近はMa13層であるので透水性が低いため，水圧はほとんど上昇しないものと考えられる．このときの浮力は，$U_2 \fallingdotseq P_{w2}-P_{w1}'$となり，$U_1$より水圧差が小さく，浮力は減少することとなる．以上より，河川水位上昇時は，天端のみ水圧が上載荷重として掛かった状態となり，構造物を沈下させたものと考えられる．計測時においては，この変動について配慮した．

その他，計測項目については，地下鉄函体が水平変位で0.2㎜程度，傾斜で0.2分程度の比較的小さな変動量が確認されたが，計測管理上問題ないものと判断した．

6　おわりに

中之島線は平成20年10月19日開業予定で，現在は出入口換気塔工事，最終復旧工事を進めている状況である．そのような中，連絡通路工事の埋め戻し荷重の増加に伴う，四つ橋線函体の沈下も考えられることから，その挙動に注目して行く所存である．最終的には，四つ橋線内の事後調査を行い，その健全性を確認していく方針である．

最後に，本論文の作成にあたり技術的な支援をいただいた，中之島新線技術員会および大阪市交通局の方々に深く感謝の意を表します．

参考文献

1) 京阪電気鉄道(株)：中之島線ホームページ，http://nakanoshima-line.jp/
2) 大阪市交通局：大阪市地下鉄建設工事五十年史，1983.
3) 塩谷智弘：大阪ビジネスパーク駅とシールドトンネル(特に裏込め注入について)，現場技術者のための土質工学講習会―⑦地下構造物―テキスト，地盤工学会関西支部，pp.63-77，1997.
4) 川口大仁・大田擴・塩谷智弘：大阪地下鉄7号線・泥水シールド掘進に伴う近接構造物の計測管理，基礎工，pp.115-121，1989.
5) 高幣喜文：大阪地盤のリバウンド特性について―逆打ち工法における実測例―，日本建築学会近畿支部研報告集，第27号・構造系，日本建築学会近畿支部，1987.5.

シールドトンネルの新技術

シールドトンネルの新技術研究会編　代表　鈴木　　章

B5判 285頁　本体価格4,660円　〒340円

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

土木情報 No.424 今月の主な入札結果

（8月10日～9月9日）

事業主体	工事名	請負会社	請負額 単位百万円
北海道開発局	一般国道229号余市町ワッカケT	西松・石山JV	844
沖縄総合事務局	那覇港(那覇ふ頭地区)道路(空港線)沈埋函T(7号函)築造	東亜建設工業	1,850
北陸農政局	九頭竜川下流農業水利事業右岸幹線用水路その14	大本組	378
〃	〃 〃 その15他	大本組	232
関東農政局	中信平二期農業水利事業梓川幹線その4	鴻池組	545
九州地整	宮崎10号祝子T新設	間組	3,910
都市再生機構	勝どき駅前地区(再)地下鉄駅連絡通路整備	大林組	832.7
日本下水道事業団	長野市運動公園雨水調整池建設	銭高・北野JV	1,640
福島県	国道第一種改良	田中・堀江JV	480.5
埼玉県	利根川右岸流域下水道上里幹線管渠築造2工区5号	新井組	303.3
〃	20新受第701号新三郷幹線移設	島田建設工業	429.6
〃	20柿受第801号幹線1号移設	佐藤建設工業	118.8
都・水道局	八王子市丹木町一丁目地先から同市中野上町五丁目地先間送水管(1500㎜)T内配管及び立坑撤去	大林・五洋JV	949.3
都・下水道局	墨田区菊川一，二丁目付近再構築その2	佐藤工業	123.9
神奈川県	(県土経1-23)主地相模原町田線下当麻交差点立体交差県道52号相模原町田線	日本国土開発	395.08
長野県	20年度国補千曲川流域下水道事業管路施設・千曲川流域須坂幹線	鹿熊組	118.48
岐阜県	公共道路改築事業福島第3T	大日本・金子JV	687
和歌山県	国道425号(仮称福井1号T)道路改築	淺川・尾花JV	1,414
山口県	一般国道490号道路改良	井森・技工団JV	1,496.50
熊本県	春日池上線住宅市街地総合整備促進(万日山T)	鹿島・山本・大政・諫山JV	2,643.2
鹿児島県	道路改築(蘭牟田瀬戸1号T)	丸福建設	776.99
仙台市	地下鉄東西線本体一番町工区	鹿島・福田・りんかい日産・橋本JV	5,715
〃	〃 西公園工区	大成・清水・アイサワ・橋本JV	4,194.24
藤岡市	公下管渠築造(第1工区)	塚本工務店	117
さいたま市	芝川左岸第1-1排水区下水道(北建-20-4)	ケイワールド日清	102
鳩ケ谷市	坂下町第1号汚水幹線	若築建設	157.5
横浜市	水場～減圧水槽口径1500㎜導水管布設替(その14-2)	間組	489
〃	新杉田共同溝口径1100㎜配水管新設(その1)	鹿島・大林・奥村JV	780
藤沢市	補第13工区村岡東2丁目地内雨水管渠築造	小田急・福丸JV	188.4
新潟市	東下26号河渡排水区枝線17～22下水道	守谷商会	126.94
〃	北下302号杉名雨水調整池整備	皆川組	295
名古屋市	空見汚水送水幹線下水道築造	土屋・NIPPO・光建JV	966.9
〃	荒畑東幹線下水道築造	アイサワ工業	170
〃	第5次大生雨水幹線下水道築造	竹中土木	235.3
豊田市	一級河川安永川T新設(水源工区)	間・太啓JV	1,270
〃	こまどり公園雨水調節池建設	オリエンタル白石・太啓JV	849
池田市	石橋第1増補幹線築造	鹿島建設	1,171.21
宇部市	第30工区厚南1号汚水幹線	五洋・日立・中国産建JV	630

施工

供用中の下水道管渠への側面地中接合

—江戸川左岸流域下水道シールド工事(市川幹線701工区)—

千葉県県土整備部江戸川下水道事務所主査 三室賢治
大林・岡本特定建設共同企業体所長 田代良守
大林・岡本特定建設共同企業体機械主任 角田繁俊
大林組生産技術本部シールド技術部課長 守屋洋一

1 はじめに

江戸川左岸流域下水道における市川幹線は，市川市，船橋市，および鎌ケ谷市の3市の汚水が流入する幹線管渠で，全体工事延長は約10.8kmである．このうち，市川幹線701工区は，市川幹線の最下流部に位置し，既設の江戸川幹線(内径4,750㎜)の地下約8.5m地点へ流入する新設の汚水幹線工事である．

既設管への接合地点は，交通量の非常に多い幹線道路交差点内であり，さらに地下埋設物も多いことから，到達立坑の築造は困難であった．そのため，地上からの施工は一切行わない側面地中接合によって直接既設管へ接合する方法を採用することとした．

接合にあたっては，既設管の開口に伴う補強を行う必要があった．また，資材の搬入・作業員の出入りについては，136m下流にある既設人孔から行う方法も考えられたが，供用中の下水道を利用することは，上流ポンプ場のポンプ停止時間の関係で作業時間が4時間しか確保できないことと，降雨などの増水時における安全性の確保に課題があった．そこで，発想を変えてシールド到達後，新設シールド側から既設セグメントに仮の作業口を設置することで，これらの課題を解決することとした．

本稿では，接合用押し出しフードを搭載したシールドによる側面地中接合の施工事例を報告する．

2 工事概要

2-1 工事諸元

工事名：江戸川左岸流域下水道管渠築造工事
(市川幹線701工区)
発注者：千葉県県土整備部
施工場所：市川市八幡1丁目～南八幡2丁目
工期：平成17年12月～平成20年3月
主要工種：φ2,480㎜泥土圧シールド(仕上がり内径φ1,650㎜FRPM管)
掘進延長：1,168m
縦断勾配：－0.5‰
最小曲線半径：R＝180m

2-2 路線概要

市川幹線701工区の平面線形は，**図-1**に示すように，国道14号線北側の立坑より発進後，市道117号線を南下し，総武線の高架下を経て，京葉道路市川インター北交差点内で既設の江戸川幹線の管中心＋821㎜で直角地中接合する計画である．

2-3 地質概要

シールド掘進部の前半2/3は沖積層(A_{s2}：N値3～40，粒子の粗い砂主体)，後半1/3は洪積層

(D_{si}：N値3～27，砂を混入するシルト主体)で，地下水位はGL－3.5～－4.8m程度である．地中接合地点のシールド掘進部の土質は洪積粘性土層(D_{cl})であるが，すぐ上部には細砂および沖積砂質シルトを有しており，接合作業時の地山崩壊が懸念された．地中接合地点の土質柱状図を図-2に示す．



図-1　施工位置図

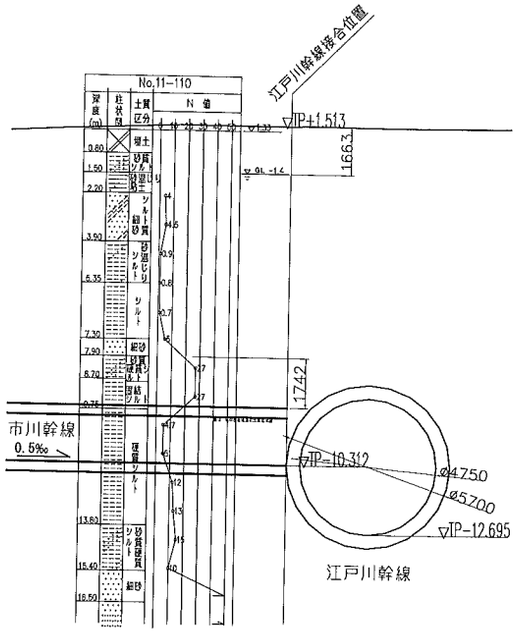


図-2　地中接合地点の土質柱状図

3　施　工　計　画

本工事は交差点直下において，切羽を開放した状態で人力掘削を行うことから，安全性を確保するため，シールドにはスライドフードを装備し，周辺地山へは止水を目的とした薬液注入を行った．設計・施工計画の策定にあたって留意した事項を下記に示す．また，側面地中接合部の縦断図を図-3に示す．

3-1　設計上の留意点

① 既設トンネルとシールドの接合高さは，上流側の水理条件に影響を及ぼさないように検討した結果，既設トンネルの中心線より＋821㎜に接合することとした．

② 既設管への接合精度を向上させるため，到達前のシールドの直線区間を10m以上確保することとした．

③ シールドの前胴部を外筒・内筒の二重構造とし，到達後に外筒(スライドフード)を押し出すことで地山の崩壊を防止することとした．

④ 既設トンネルのセグメントに小口径の作業用開口を設置し，補強用資機材の運搬を新設トンネル側より行うこととした．

⑤ 既設管の開口に伴う補強方法は，二次覆工部の一部を除去し，アーチ支保工を埋め込むリング補強構造にすることとした．

⑥ T字接合部付近には，耐震構造として可とうセグメントを設置することとした．

⑦ 既設管接合部はスキンプレートおよびフードを外殻とした鉄筋コンクリート構造にすることとした．

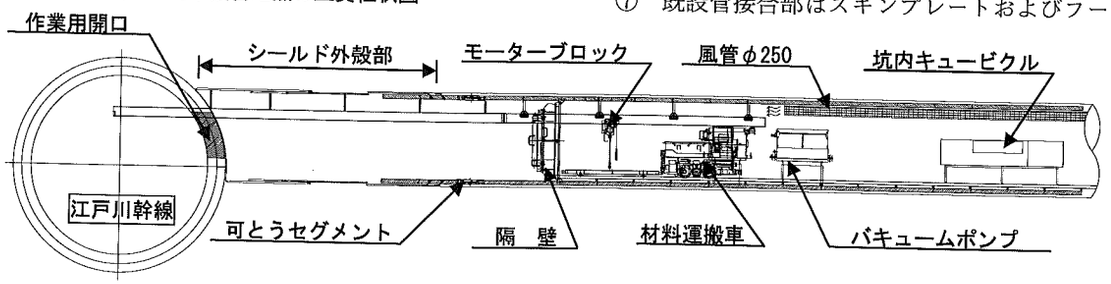


図-3　地中接合部の縦断図

3-2　施工上の留意点と対応策

① 接合地点の薬液注入工事は地表面の交通量が多く地中埋設管が多数存在するため，シールド内からの水平注入により施工することとした．

② 既設下水道管は供用中であるため，作業員避難場所の確保と下水の流入防止を目的とした隔壁を新設シールド内に設置することとした．

③ 既設トンネルの開口補強工を行うため，既設管の下水を仮締め切り工によって切り回し，部分的にドライな空間を確保することとした．なお，仮締め切り工の支柱は鋼材とし，堰板は合成木材を使用することで遮水性と作業効率を向上させることとした．

④ 既設管接合部の上流6kmにあるポンプ場の操作によって，下水道の流下を停止できるが，その時間帯AM2：00～AM8：00に合わせて施工サイクルを設定することとした．

⑤ 既設下水道内には硫化水素などの有毒ガスが発生滞留する可能性があるため，ガス濃度測定と，十分な換気計画(ターボブロワ風量50m³/min，250㎜風管)を設置することとした．

⑥ 既設管補強工事中の突発的な雨水流入に対しては，資材が流出しないよう取り外し可能な資材は毎日撤去し，角落しなどは確実に固定して作業を行うこととした．

⑦ ポンプ停止時間と作業員の入出坑時間などについては綿密な連絡体制を確立し，作業日のPM4：00に当日の作業打合せを行うこととした．

⑧ 降雨により江戸川幹線内の水位上昇の危険があるとき，坑内作業はすべて休工にすることとした．

⑨ 作業開口部からの資機材の搬出入を安全に行うため，既設トンネル内にモーターブロック(1t吊り)を設置することとした．

⑩ 作業用の動力として，坑内キュービクル(105kVA)を設置することとした．

⑪ コンクリートのはつり作業は，下流側へのコンクリートガラの流出を防止するため最初にガイドレールに設置したウォルソーマシンによって切断，縁切りを行い，コアドリリングでコア抜きした後，仕上げ作業をピックハンマーで行う方法とした．

4　地中接合工の施工

3章で記載した対応策を実施したうえで，側面地中接合工の施工を行った．

4-1　施工手順

本掘進到達より接合部補強工までの施工フローを図-4に示す．また，側面地中接合作業の実施工程表を表-1に示す．

4-2　薬液注入工

到達地点約20m手前でシールドを停止させ，既設下水道管周辺の止水を目的とした低圧浸透方式の薬液注入(二重管ストレーナ複層)を実施した(写真-1)．

粘性土24%，砂質土40.5%の注入率で実施した結果，チャンバ内への漏水はごく少量であり，シー

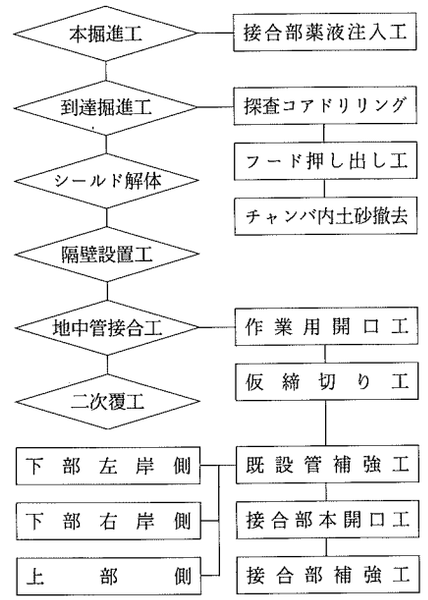


図-4　側面地中接合の施工フロー

ルド内(以下,「機内」と表記)からの薬液注入工は十分な効果を発揮できた．6列7段の注入パターンの計画断面図を**図-5**に示す．

表-1　側面地中接合作業実施工程表

工種	場所	平成19年 7月	8月	9月	10月	11月	12月
隔壁設置工		▬					
作業用仮開口工		▬					
既設管補強工	水位下左		▬				
	水位下右			▬			
	上部			▬	▬		
本開口工						▬	
管口補強工						▬	
隔壁撤去工							▬

※　降雨による中止4日，メンテによる中止3日

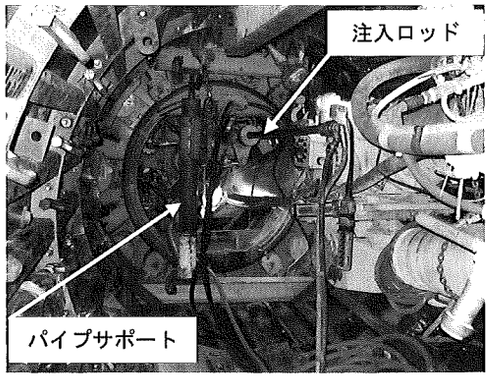


写真-1　機内薬液注入の施工状況

機内からの薬液注入の施工に際しての課題と対策を以下に述べる．

① 機内からの薬液注入を施工するには，限られた空間内から所定の範囲が削孔できるような装備をしておく必要がある．この課題に対しては，あらかじめバルクヘッドに，角度を自由に設定できる首振りバルブ(φ50㎜)を取り付けることで，計画されたすべての削孔角度を満足することができた．

② 狭い機内からの作業では，とくにスクリューコンベヤが削孔ロットに干渉するといった課題があった．この課題に対しては，スクリューコンベヤがバルクヘッドの位置で首が振れるような構造とすることで，上下・左右に移動することができ，削孔・注入作業の空間を確保することができた．

③ フード押し出し後の安全性を確保するため，薬液注入の止水効果をチェックし，かつ補足注入もできるような装備が必要であった．この課題に対しては，あらかじめフード後端にボールバルブを6か所設置することで対応した．実際の確認作業では，止水性に問題はなく，補足注入の必要性はなかった．なお，これらのバルブは，フード押し出し後のスキンプレート背面の空洞充填に利用することができた．

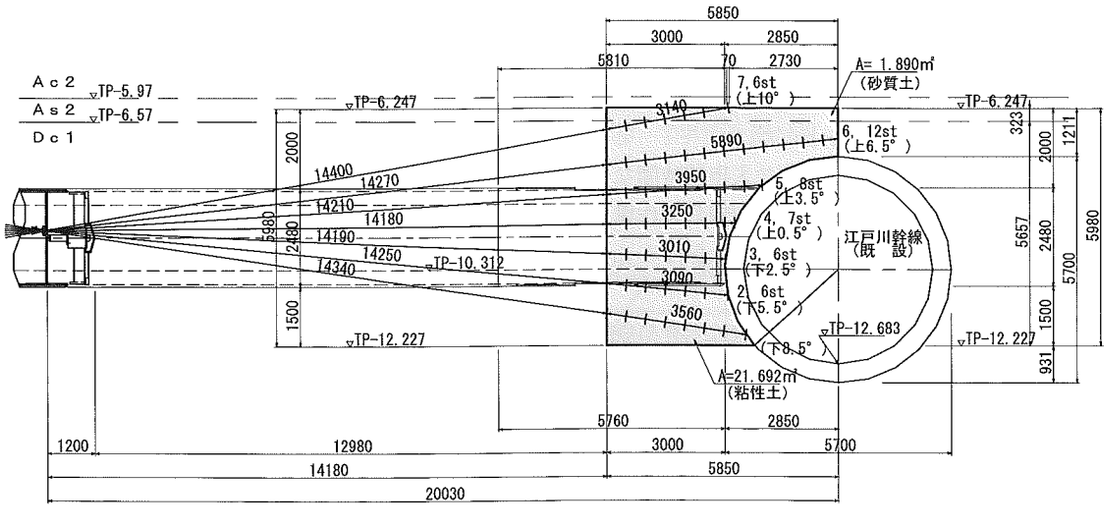


図-5　シールド内からの薬液注入計画図

4-3　到達掘進工

側面地中接合においてもっとも重要なポイントは，既設管と新設管の位置関係を正確に把握することである．既設管については，事前の管内測量において接続箇所の中心座標を確認したが，二次覆工と一次覆工の位置関係や真円度によっては既設管の外面位置は必ずしも既設管中心からの計算座標とは一致しない．そのため，既設管との位置関係については，以下の方法で確認し，到達掘進を行った．

① 20m手前の薬液注入を行ったときの削孔長のデータから既設管の概略位置を確認した．

② 350㎜手前まで掘進し，バルクヘッドに装備したバルブを使用してコアドリリングを行い，既設管のセグメントの一部をコア抜きすることで既設管の位置を計算した．その結果，350㎜手前と考えていた到達位置は，実際には260㎜手前であることを確認した．

③ 測量結果にもとづきフィッシュテール先端が既設管の手前70㎜まで掘進し，到達掘進を完了した．

4-4　フード押し出し工

フード押し出し工の手順は以下のとおり実施した．

4-4-1　準備工

押し出し時に支障となるスポークを油圧ジャッキによって縮めた．次に機内の作業スペースの確保のためにエレクター，スクリューコンベヤ，油圧ホース，注入関係ホース類の撤去を行った後，4か所のフード押し出しジャッキの取り付けを行った．

4-4-2　押し出し工

フード押し出し長さ1,500㎜に対してフード押し出し用ジャッキのストロークは200㎜であるため最低8回のジャッキ盛り替え作業が必要であった．

押し出しの管理は以下のように行った．

① 10㎜ごとに対角に位置するジャッキ2本のストロークを測定した

② 50㎜ごとに全ジャッキ4本のストロークを測定し，ストロークのズレが10㎜以上の時は修正した．

③ 押し出し用ジャッキの油圧が上限を超えないよう管理した．

④ シールドに装備した土圧計の値(**図-6**)は，当初フード押し出し量とともに増加したが，チャンバ内の土砂を少量撤去することによってほぼゼロまで低下した．

写真-2にフード押し出し状況，**写真-3**にシール

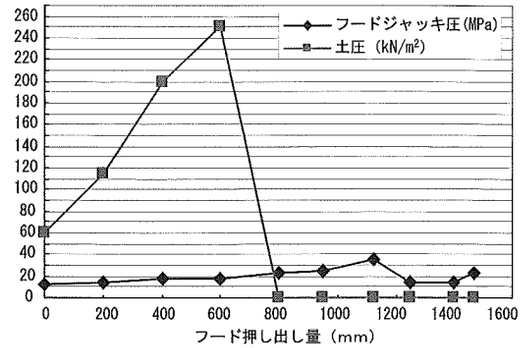


図-6　フード押し出し量と圧力の関係

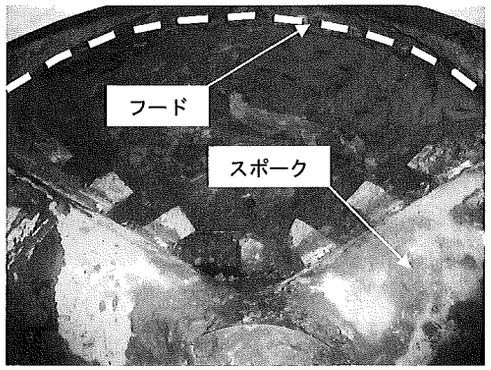


写真-2　フード押し出し状況

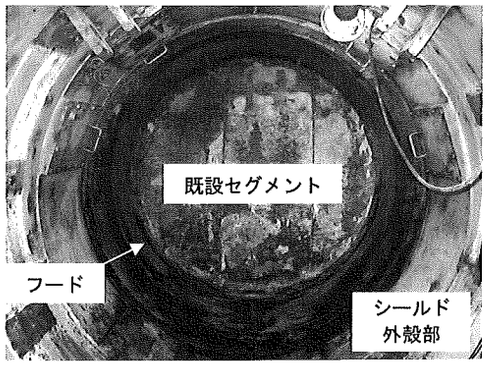


写真-3　シールド内解体後状況

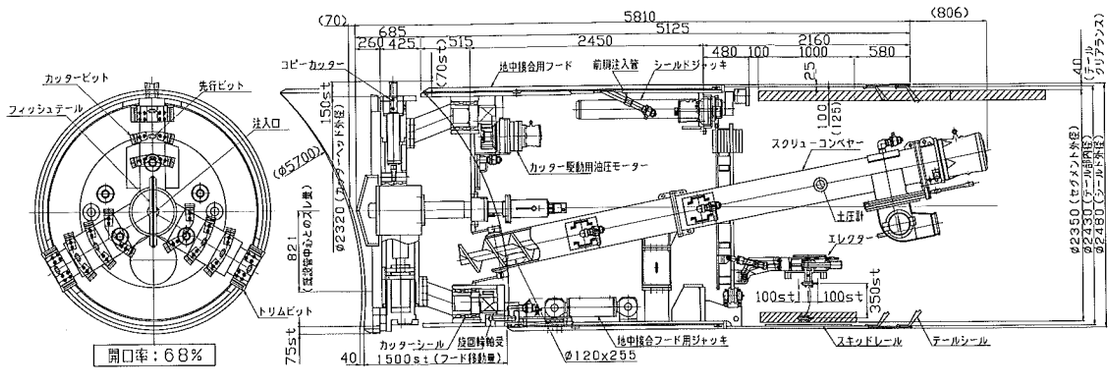


図-7　シールド全体図

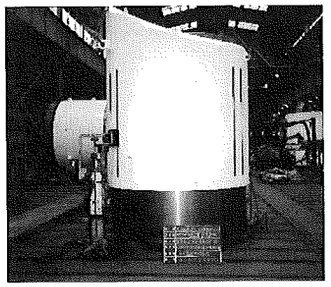


写真-4　押し出しフード部製作状況

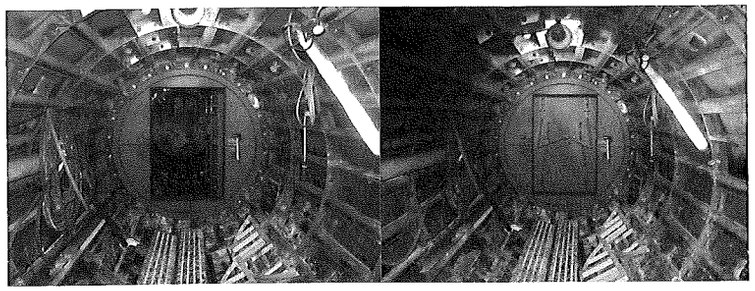


写真-5　坑内隔壁設置状況

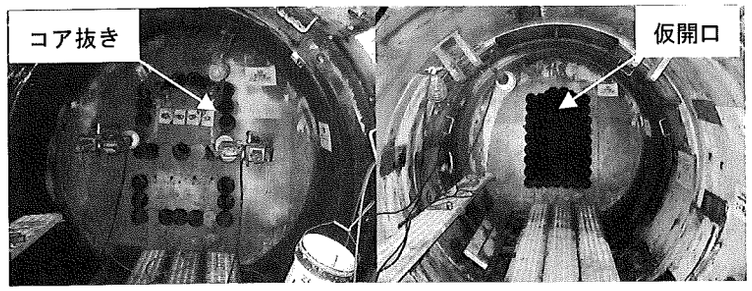


写真-6　仮開口状況

ド内解体後状況の写真を示す．

なお，押し出しフードを装備したシールド仕様については，下記の工夫を行った．

① フード押し出し時に，外周ビットとフードが干渉する点については，スポークを収縮できる構造にし，収縮量の確認をワイヤーで行うことで対応した．

② 押し出しフードの先端は既設江戸川幹線のセグメント形状に合わせた上下非対称のカーブ(**図-7，写真-4**)でカットしている．そのため，押し出しジャッキのストロークを長くすると，機長全体が長くなることが課題であった．この課題に対しては，60t油圧ジャッキ4基のストローク長を200㎜とできるだけ短くし，盛り替え回数を増加させることで機長増加への影響を低減した．なお，フードの押し出し長さは，予定では1,500㎜であったため，油圧ジャッキの盛り替えが容易にできるようフード側に油圧ジャッキを固定するためのタップ穴を50㎜ピッチに設けておくことで，スムーズな盛り替え作業ができた．

4-5　隔壁設置工

供用中の既設管との管接合では，降雨時，既設管の水位が上昇した場合，新設トンネル側に流入する恐れがある．そのため，作業員の安全確保のためシールド後方約3mの位置に隔壁を設けた．設置方法は，セグメント組み立て時にあらかじめ隔壁保持リングを挟み込んでおき，既設管開口前に隔壁を取り付ける方法を採用した(**写真-5**)．

4-6　既設管の開口補強工

（1） 仮開口工

流入管渠全断面を開口するのに先立ち，既設管



写真-7　仮締め切り後状況

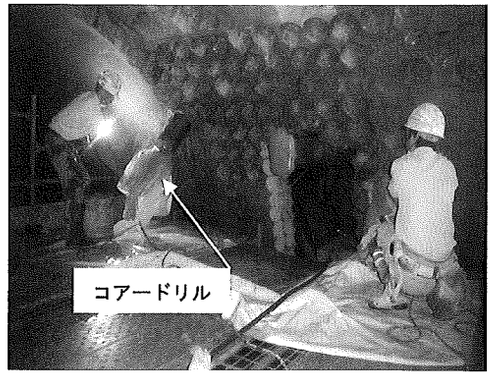


写真-8　接合部コンクリート殴し工

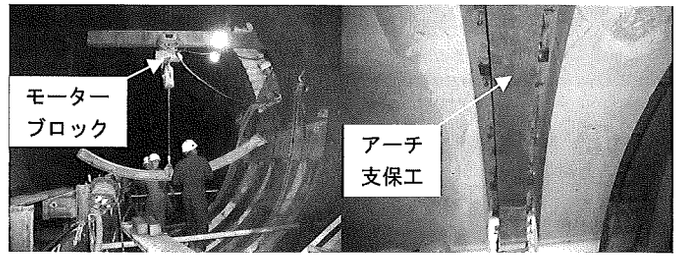


写真-9　アーチ支保工建て込み工

の補強工事の資材搬入と作業員の搬出入口として，構造上，既設管の開口補強を必要としない幅800㎜×高さ1,200㎜の仮の開口部を既設管のセグメントに設けた．

仮開口の施工法は，コアドリリングで開口位置の外周部に穴を開けた後，コンクリートをブロック状に小割りして搬出した(**写真-6**)．

（2） 仮締め切り工

管内水位が30cm程度に下がった時点で江戸川幹線内に入り仮締め切り工を実施した．最初に，仮締め切りの支柱であるH形鋼を建て込み，水中でセグメントにケミカルアンカーを打設し，1日養生後，建て込んだ支柱間に合成木材で加工した角落しを落とし込み，背割りを行った．なお，仮締め切りの上下流部は斜めに設置することで水流の抵抗を軽減した．

合成木材の最下段に設置しておいたゴムパッキンは，直線部では止水効果があったが，斜めの部分では漏水があり，5cm厚のスポンジに変更して止水を行った．なお，斜めの部分は，昼間に水位が上昇したときの水圧を考慮して，毎日撤去・設置をくり返した(**写真-7**)．

（3） コンクリート切断工

既設管の二次覆工コンクリートの切断方法としては，ウォルソー切断工法を採用した．実際の作業では切断面が曲線であるため，定規の鋼材の盛り替えに時間を要し，計画の2.16m/hに対し実施では1.1m/hとなった．

（4） コンクリート取り壊し工

コンクリート取り壊し作業は，下部ではコアドリリングで先行して，所々にコア抜きを行い，ブレーカーによるはつり作業を行った．上部は千鳥状にコア抜きした後，残った部分をはつり落とした(**写真-8**)．

（5） 開口補強用アーチ支保工建て込み工

アーチ支保工を所定の位置に設置する方法として，既設RCセグメントにケミカルアンカーを打設し，レールクリップでボルト固定した(**写真-9**)．

（6） 無収縮モルタルの打設工

下部についてはポリマー系セメント(エマコS123P)を使用し，コテ仕上げとした．上部は型枠を組み立て，エサシートを貼り，無収縮モルタル(エマグラウト120)を現場に設置したミキサーで練り混ぜ，グラウトポンプで打設した．

（7） 接合部の補強方法

既設管と新設管接続部における抜け出し防止対策として，既設管のRCセグメントにケミカルアンカーを打設し，流入管部の二次覆工の鉄筋と重

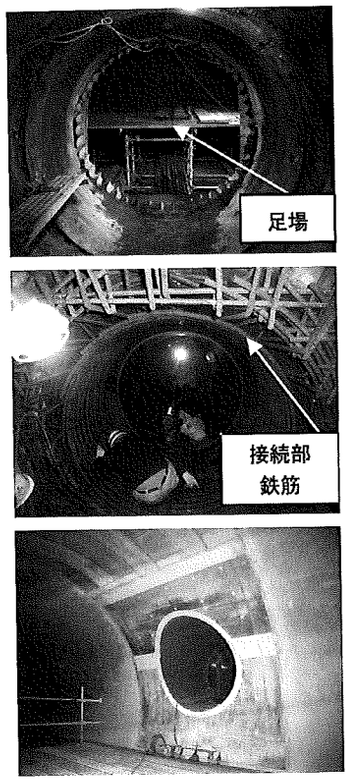


写真-10　本開口工・接合部補強工

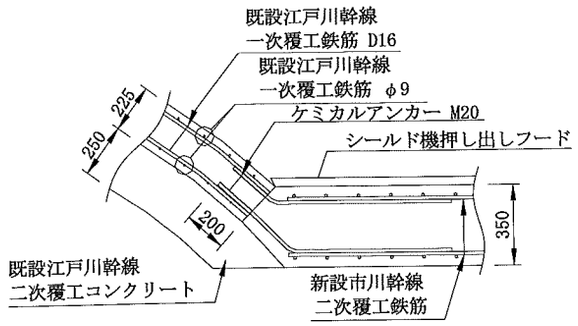


図-8　開口部補強構造図

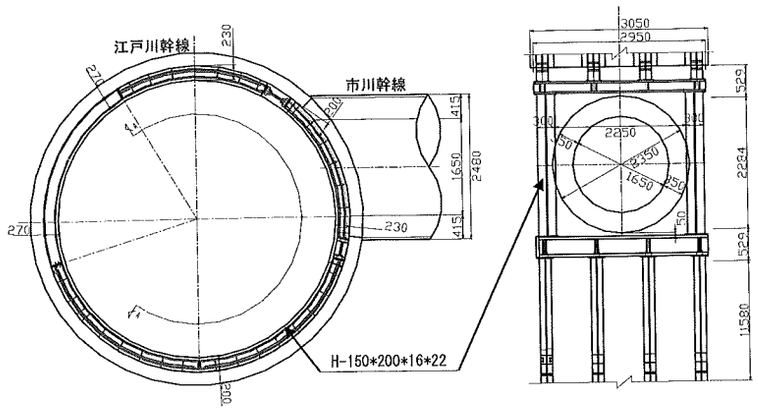


図-9　接合部構造図

ね継手によって一体化を図ったRC構造とした(**写真-10**，**図-8**)．

なお，二次覆工のはつり作業時に，既設管の二次覆工の厚さが，下方向20cm，左方向23cm，右方向27cmと不均等であることが判明し，当初計画していたアーチ支保工(H-200×200×8×12のH形鋼加工品)では下方向のかぶりを確保できなくなった．そのため，再度構造計算を行い，桁高の小さなビルトH(H-150×200×16×22)を再製作し，使用することで対応した(**図-9**)．

5　おわりに

本工事のように，到達立坑部の交通量が多いとか，立坑敷地の確保が難しいなどの理由で，シールド到達側が地中接合の計画となる事例は，今後増加してくると考えられる．

また，接合する管が供用中の場合，さまざまな制約条件を受けることが予想されることから，類似した工事の計画にあたっては，本工事の施工事例がお役に立てば幸いである．

続　きみの庭にも温泉が出る
その後の温泉開発と建設の考え方
石井康夫・俣野恭寛 共著　新書判 217頁　本体定価 1,200円（〒210円）
株式会社 土木工学社　〒162-0832 東京都新宿区岩戸町16メイジャー神楽坂
電話 (03) 3267-2888（代）　振替 00110-8-190072

研　究

重金属などを含む掘削残土の分別処理方法

鉄道・運輸機構東北新幹線局局長　服　部　修　一
(財)鉄道総合技術研究所防災技術研究部地質研究室長　太　田　岳　洋

1　はじめに

日本各地に分布する鉱山および鉱山跡地では，坑道からの地下水や掘削残土処分地からの浸出水が強酸性を示し重金属を多く含むことから，それらが流入する周辺の河川水などの汚染が社会問題となっている[1]．また，近年の土木工事では周辺環境への影響が問題とされることが多く，掘削残土からの酸性水の浸出や重金属類の溶出が問題となった事例も報告されている[2]．これらの問題は，掘削残土に天然に含まれる黄鉄鉱などの鉱物が酸素を含んだ降水や地下水と接触し，分解することが原因と考えられている[3]．

2003年2月に土壌汚染対策法(平成14年5月29日法律第53号，以下「土対法」と略す)が施行されたことに伴い自然的原因により有害物質を含有する掘削残土についても，当該土地以外に搬出する場合，例えば掘削区域外の残土処分地に埋め立て処分する場合などは土対法に準拠した対策をするよう環境省から通達(平成15年2月4日環水土20号)が出され，土木研究所の監修によりマニュアル[4]が作成された．これにより鉱山地域における掘削工事だけでなく，都市部を含めて一般的な泥岩や泥質堆積物を対象とした掘削工事でも，土対法に定められた溶出基準を満足せず，同法に準じた対策を講じざるを得ない事例[5]が生じている．

2005年2月に貫通した東北新幹線八戸・新青森間の八甲田トンネルも旧鉱山の分布地域に位置する(**図-1, 2**)ことから，掘削残土からの酸性水や重金属の溶出が懸念され[6]，それらに関する評価法を確立するために調査・検討が行われた[7),8)]．八甲田トンネルでは酸性水発生に関する岩石の判定手法[9]を検討・確立し，この判定手法により酸性化が懸念されると判定された掘削残土について，産業廃棄物処理技術を応用した「管理型土捨場」に埋め立て処理することとした[10]．さらに，管理型土捨場からの浸出水水質について施工中から施工後までモニタリングを行い，分別処理の妥当性を検討している[11]．

本稿では八甲田トンネルで実施した掘削残土の判定手法，分別処理方法について述べ，土捨場浸出水のモニタリング結果からこれらの手法の妥当性を考察する．また，この結果にもとづいて，今後の自然由来の有害元素を含む掘削残土の処理方法のあり方についての考え方を示す．

2　酸性水の発生に関する掘削残土の判定方法

八甲田トンネルで実施された酸性水発生にかかわる岩石の判定方法は，以下のとおりである(**図-3**)．本稿では，酸性水の発生が予想され「管理型土捨場」に処分すべきと判断された岩石を「管理型」，それ以外の岩石を「一般型」と称する．

まず，肉眼鑑定により鉱脈あるいは鉱石と判断される岩石は「管理型」と判定する．次に，火山岩については帯磁率測定を行い，岩石の帯磁率($\kappa_{cgs} = \kappa_{SI}/4\pi$)が$50\times10^{-6}$emu/cm^{3}以上を示す岩石を「一般型」とする．鉱脈・鉱石以外の全岩

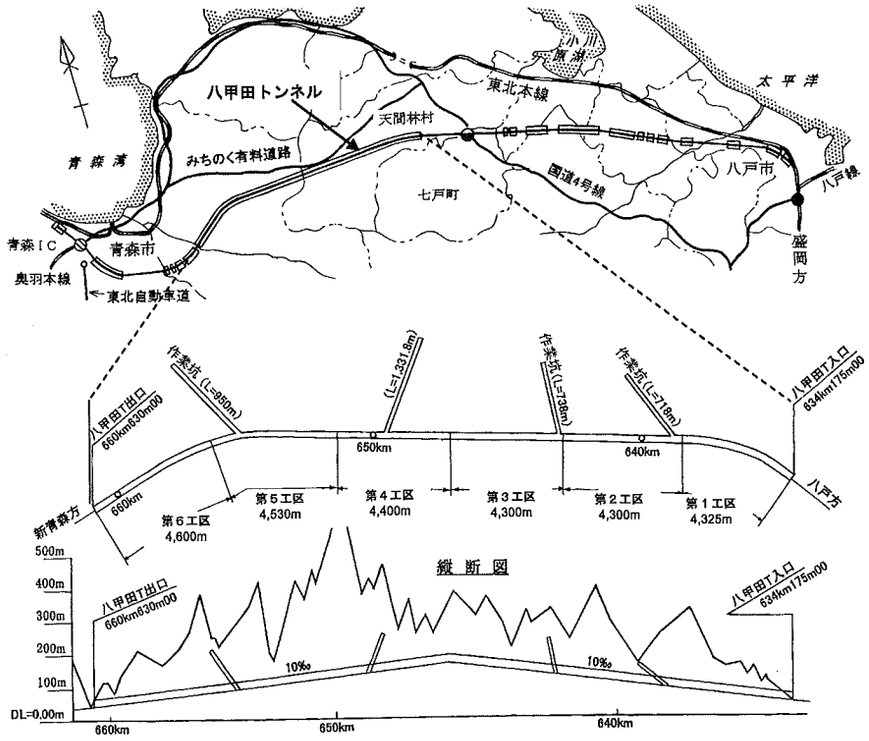
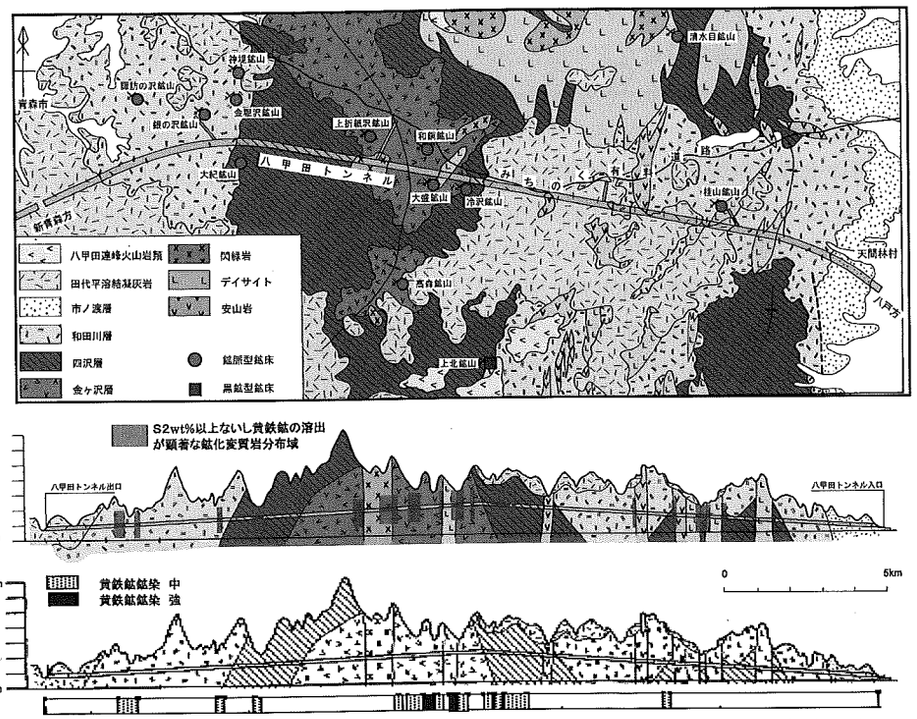


図-1 八甲田トンネルの位置図(上)と全体図(下)[11]



上：地質平面図と鉱床分布図，中：鉱化変質岩分布域実績図，下：鉱化変質岩分布予測図

図-2 八甲田トンネル周辺の地質図[11]

種に対して簡易溶出試験を行い，1時間後の溶出水のpHが6.0以下を示す岩石を「管理型」とする．次に1時間後溶出水のpHが6.0を超える岩石について全岩化学組成分析を行い，硫黄含有量が2.0wt%以上の岩石を「管理型」とし，さらに泥岩については硫黄含有量が2.0wt%未満でもS/Caモル比が1.0以上を示す場合も「管理型」とする．また，鉛，ヒ素，セレンの重金属元素含有量のいずれかが150ppm以上の岩石は「管理型」とする．簡易溶出試験や全岩化学組成分析の方法およびそれぞれの基準値の設定については，**表-1**に概要を示すが，詳細は服部ほか[7),9)]を参照していただきたい．なお，八甲田トンネルでは検証を目的として，分析した全試料について上記のすべての試験を実施し，簡易溶出試験は56日間継続した．図-3に示した判定方法の妥当性については，服部ほか[11)]に詳しく論じられているので，参照していただきたい．

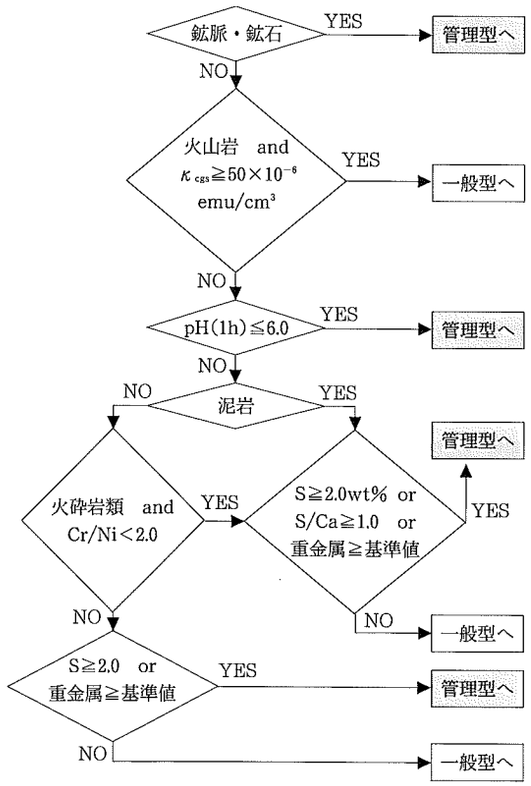


図-3 八甲田トンネルの酸性水など溶出に関する岩石判定フロー[11]

3 掘削残土の分別処理方法

3-1 処理の基本概念

鉱化ずりの処理については，いったん酸性水が発生すると長期間処理を続ける必要性が想定されることから，施工段階での十分な対策，つまり酸性水を発生させない処理方法を開発する必要がある．鉱化ずりからの酸性水発生を防止するには，次のような処理方法が考えられる．

① 酸化を防止するため，十分な深さの海底に投棄することなどにより還元状態を保つ「還元状態維持型」

② 選鉱設備で硫化鉱物を除去後，土捨てする「処理プラント型」

③ 酸性水を石灰岩などで中和する「中和処理型」

④ 産業廃棄物処理技術を応用し，鉱化ずりを地下水・降水・空気と遮断する「管理型」

服部ほか[7)]による実験的検討などから，八甲田

表-1 八甲田トンネルにおける岩石判定基準値設定の概要[11]

判定項目	判定基準値	基準値設置の根拠
帯磁率(κ_{cgs})	κ_{cgs}≧50×10⁻⁶emu/cm³ →一般型	・基準値以上の火山岩で酸性化を示す試料がみとめられない． ・基準値以下でSを2.0wt%以上含む火山岩は非常に少ない．
溶出水のpH	1時間後のpH≦6.0 →管理型	・1時間後の溶出水pHが6.0以下を示す試料はすべて，56日後でも酸性を示す．
火砕岩類のCr/Ni比	Cr/Ni<2.0 →泥岩に準拠	・火砕岩類は，Cr/Ni比が1.0前後の試料と2.0以上の試料とに大別される． ・泥岩のCr/Ni比は1.0前後で，火成岩のCr/Ni比は2.0以上である． ・Cr/Ni比が1.0前後の火砕岩類の溶出特性が泥岩に類似する．
泥岩および火砕岩類(Cr/Ni<2.0)のS/Caモル比	S/Caモル比≧1.0 →管理型	・S/Caモル比が増加すると溶出水のpHが低下する． ・S/Caモル比が1.0以上で溶出水が酸性化する場合が認められる．
S含有量	S≧2.0wt%→管理型	・溶出水が酸性を示す火成岩類は，Sを2.0wt%以上含むことが多い．

トンネルでは上記④の「管理型」を処理方法として採用した．

また，八甲田トンネルでは，掘削残土量が膨大(地山で約230万m³)となるため，残土全量を酸性水が発生するとして一様に処置すると，多大な経費を要する．このため掘削残土を，排水基準を満たさない浸出水の発生が想定される掘削残土(管理型残土)とそれに該当しない残土(一般型残土)とに分別し，前者を産業廃棄物最終処分場と同様の遮水性能を有する土捨場(以下「管理型土捨場」と称す)に処分し，掘削残土からの浸出水が下流域の地下水や公共水域に悪影響を及ぼさないことを基本とした．

3-2 掘削残土の分別・処理工程

一般的なトンネル工事の工程などの実態から，掘削残土を分別・処理する工程の基本的な条件を以下のとおりとした．

(1) 分別量の単位

切羽ごとに掘削残土を細かく分別することは工事の実態上不可能なため，一日分の掘削残土全量を単位として管理することとした．

(2) 掘削残土判定の所要時間

判定に日数を要すると，その日数分の容量の貯積場(ずりピン)が必要となるため，24時間以内に判定結果を得ることとした．

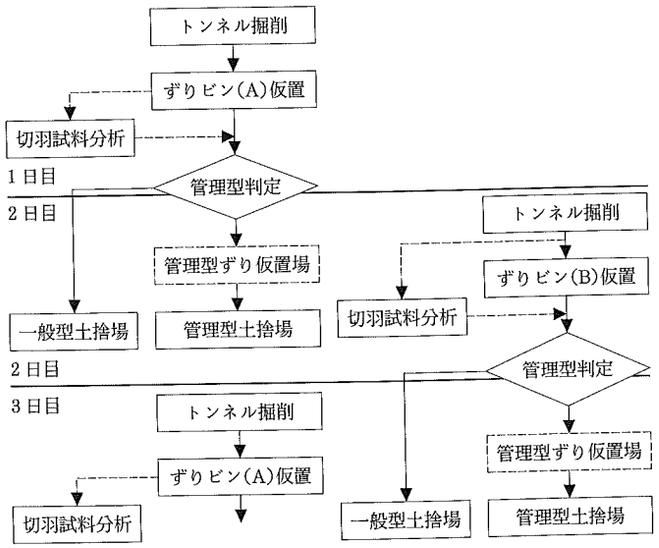


図-4 掘削残土管理フロー[10]

(3) 複数の掘削残土貯積場の設置

図-4に示すように，トンネル坑口付近の掘削残土貯積場(ずりピン)を2区画に区分して2日分の掘削残土を貯留し，岩石の判定後に掘削残土を土捨場に運搬することにより，管理型残土を確実に管理型土捨場に処分することとした．

3-3 管理型土捨場の構造に関する検討

3-3-1 基本的な考え方[10]

2章に述べた判定方法にもとづき，有害な酸性水の発生する可能性があると判定された掘削残土は管理型土捨場に処分される．このときの基本的概念は以下の2点である．

(1) 掘削残土の酸性化の抑制

トンネル掘削部の地山は還元状態であるため，地山内で酸性水が発生する可能性は低い．したがって，還元状態を維持したまま掘削残土を処分することにより，掘削残土の酸性化を防止することが望ましい．しかし，現実の工事では掘削残土を湧水，降水および空気に全く触れさせず土捨場に運搬することや地山と同様の還元状態に維持することは困難である．そこで，土捨場において降水，地下水などの水や空気と遮断することにより，掘削残土の酸性化を抑制することとする．

(2) 将来的な管理型土捨場からの浸出水漏洩の防止

掘削残土処分後に管理型土捨場から酸性の浸出水が漏洩した場合，その浸出水を管理する必要が生じる．また浸出水の発生は，掘削残土の酸性化の進行を促進すると考えられる．

なお，土捨場の検討に際しては施設の施工時における経済性を考慮するとともに，掘削残土処分後も種々の問題が生じない土捨場設備にすることが求められる．

3-3-2 管理型土捨場の構造[10]

(1) 底面部

管理型土捨場の底面部には，産業廃棄物最終処分場に準拠した遮水工を施工した．とくに遮水性能の長期的な安

定性や経済性を考慮し，二重遮水シートによる遮水構造を採用した(図-5)．さらに遮水シート施工時および掘削残土盛り立て時における遮水シート損傷を防止するために，遮水シートと地山との間には砕石およびモルタル吹付け，遮水シート上面には保護層として荒砂(t=50cm厚)を敷設した．

(2) キャッピング

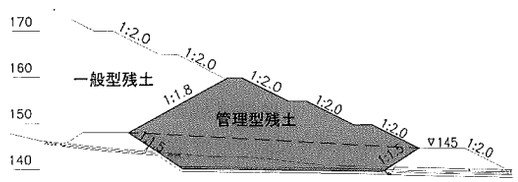
一般的に盛土は施工後に沈下することが多く，その際に何らかの変状などが生じる場合がある．管理型土捨場埋め立て完了後に生じる変状などにより，掘削残土へ雨水が侵入することを防止し，また確実な雨水の表面排除を確保することを目的に，遮水シートと不透水性土の上位に覆土を行い，覆土と遮水シート(または不透水性土)との間の排水層で浸透水を排除する多重構造を採用した．

(3) 漏水検知システム

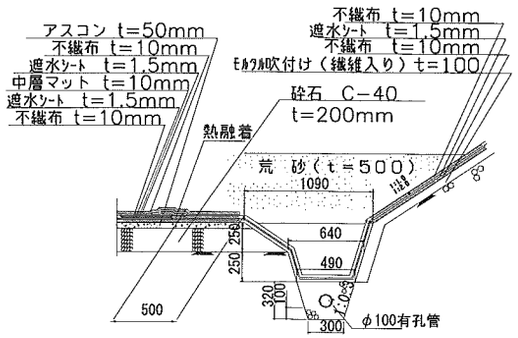
底面部の遮水シートと掘削残土との間には厚さ50cmの保護層が敷設され，施工中や施工後に遮水シートが破損する可能性は小さいと考えられる．しかし，何らかの要因で破損した場合，埋め立て後すぐにキャッピングを行うことから，掘り起こして補修することは困難である．そこで，遮水シートの破損時に適時かつ機械的に補修が可能な漏水検知システムとその補修システムを導入した．

3-3-3 積雪期の掘削残土の仮置き[10]

八甲田トンネル周辺では，冬期間は2～3m程度の積雪となるため，冬期間に掘削残土を埋め立てた場合，管理型土捨場内の掘削残土に雪が混入する可能性が高い．混入した雪は徐々に融解するため，掘削残土が長期にわたり融雪水と接触し，酸性化することが懸念された．このため，積雪時に発生した管理型掘削残土は土捨場に搬出せず，基本的に屋根付きの仮置き場(容量3,000～6,000m³)に仮置きし，無積雪期に搬出することとした．



(1) 土捨場構造の例



(2) 管理型土捨場底部および側部の遮水層構造

図-5 八甲田トンネルの管理型土捨場の構造[11]

4 土捨場浸出水のモニタリング結果

八甲田トンネルでは，各工区の管理型土捨場および一般型土捨場からの浸出水について，流量や水質のモニタリングを行った．詳細な結果は服部ほか[11]に述べられているので，ここではモニタリング結果の一部を紹介する．

4-1 一般型土捨場浸出水の時間変化

八甲田トンネル6工区の一般型土捨場のうち，トンネル工事の残土処分以外の人為的な影響がないと判断できる4工区の一般型土捨場について，浸出水の水質などのモニタリングを行った．これら4工区の一般型土捨場浸出水の水質などの経時変化はほぼ類似するので，図-6に第2工区における経時変化を示し，その特徴について以下に述べる．

一般型土捨場の浸出水では，いずれの工区においても明瞭な水温の季節変動が認められた．浸出水のpHは測定期間を通じておおむね7～8の間で変動し，pHの変動に水温依存性は認められなかった．

一般型土捨場浸出水の電気伝導率は，時間経過にともない徐々に大きくなる傾向が認められる．また，水温の変化に対応した電気伝導率の増減が見られ，夏から秋にやや高く，冬から春先に低い傾向がある．2005年12月における各工区の電気伝導率の値は，図-6に示した第2工区では約600μS/cm，その他，第3工区が約400μS/cm，第

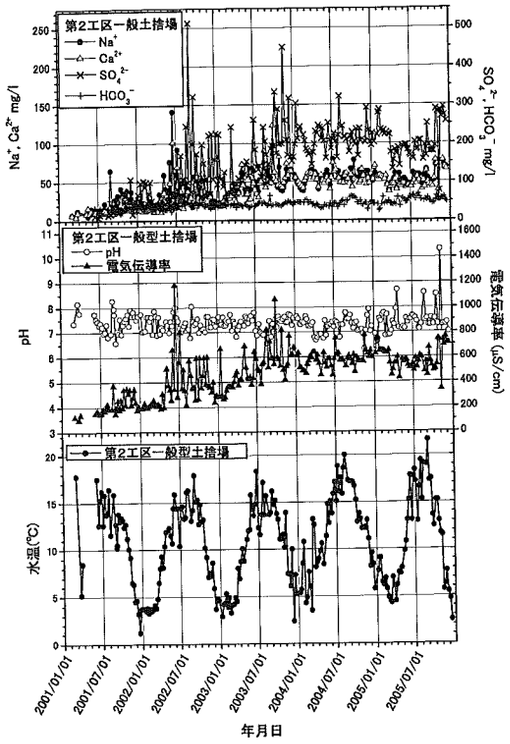


図-6　第２工区一般型土捨場浸出水水質の経時変化[11)]

４工区が約200μS/cm，そして第５工区が約700μS/cmであった．

浸出水のイオン濃度の経時変化はほぼ電気伝導率と同様である．2005年10～12月における浸出水のイオン濃度についてみると，図-6に示した第２工区とその他第５工区では他のイオンに比べてSO_4^{2-}濃度が顕著に高い傾向が認められたのに対し，第３，４工区ではNa^+，Ca^{2+}，SO_4^{2-}，HCO_3^-が同程度の濃度で溶存した．

金属元素濃度はいずれの工区でも環境基本法の水質汚濁にかかわる環境基準値以下であった．第２，４工区ではMn濃度が10^{-1}mg/ℓ前後とやや高い値を示し，第２，３，５工区ではSeが環境基準値の10^{-2}mg/ℓよりも低い濃度で含まれることがあった．

4-2　管理型土捨場浸出水の時間変化

八甲田トンネルでは五つの工区で管理型土捨場が設置された．これらのうち，代表的な二つの工区(第２，５工区)の管理型土捨場浸出水について，水質の経時的変化を述べる．

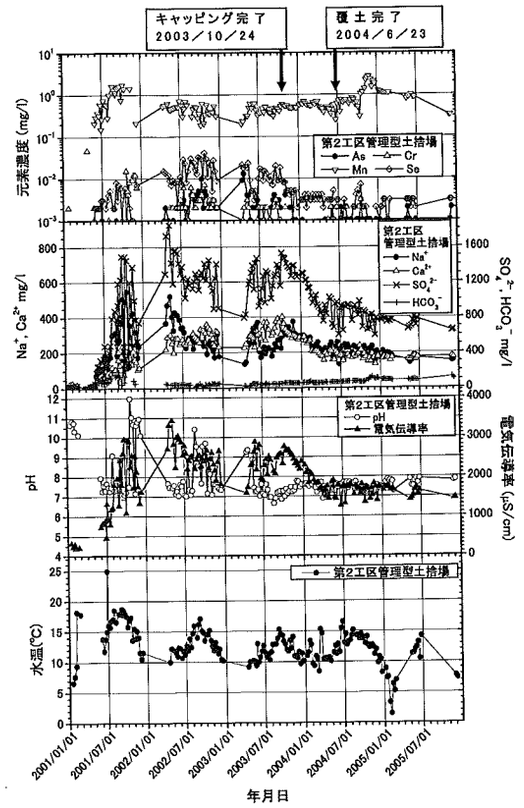


図-7　第２工区管理型土捨場浸出水水質の経時変化[11)]

4-2-1　第２工区

第２工区の管理型土捨場に処分された掘削残土の岩種の割合は，火砕岩が約40%，泥岩が約33%，安山岩が約26%であった．

図-7に第２工区における水質の経時変化を示す．第２工区の管理型土捨場では2001年１月より残土処理が開始され，2003年10月24日にキャッピング，2004年６月23日には覆土が終了し，完成形に至っている．浸出水の湧出量はおおむね10～20ℓ/minであったが，キャッピング完了後急減し，2005年12月には0.2ℓ/minまで低下した．

水温には季節による変動が認められるが，一般型土捨場に比べると変動幅は小さい．pHは計測開始初期に10.5前後と高い値を示し，その後約半年で7.5前後まで低下した．2003年５月まではときどき高いpHを示す時期が認められたが，それ以降は7.0～7.5の間で推移した．キャッピング後は7.5前後でほぼ一定のpHを示した．電気伝導率は計測開始当初100～200μS/cmを示し，2002年７月まで上昇を続けて約3,000μS/cmに達した．その後2,500μS/cm程度でほぼ一定となり，キャッピング後からは低下傾向を示した．2004年４月には1,500～1,700μS/cmとなり，その後ほぼ一定から微減傾向を示した．この電気伝導率の低下傾向が変化する時期と覆土完了の時期は一致しない．

浸出水のNa^+，Ca^{2+}，SO_4^{2-}濃度は，電気伝導率とほぼ同様の経時的変化を示すが，HCO_3^-は計測開始から2001年11月までは100～400mg/ℓで，その後は100mg/ℓ以下で推移し，キャッピング後に若干の上昇傾向がみられた．浸出水中の金属元素濃度では，Mnが定常的に10^{-1}～１mg/ℓ程度含まれていた．Cr，Seは10^{-1}mg/ℓ以下含まれ，電気伝導率と類似した経時的な変化を示した．

前述のようにキャッピング後は浸出水の湧出量が減少しているが，電気伝導率やNa^+，Ca^{2+}，SO_4^{2-}濃度およびSe，Cr濃度も湧出量の減少にともない低下する傾向が認められた．また，重金属濃度を各基準値と比較すると，施工中は排水基準値以下であり，キャッピング終了後にはすべて環境基準値以下を示した．

4-2-2　第５工区

第５工区の管理型土捨場に埋め立てられた掘削残土は，約53%が玄武岩や安山岩，約29%が火砕岩，そして泥岩が約17%であった．

第５工区の管理型土捨場浸出水の水質の経時変化を**図-8**に示す．第５工区では2001年11月から管理型土捨場浸出水の観測を行った．当該土捨場では2004年10月18日にキャッピングが終了した．

浸出水の水温には明瞭な季節変動が見られるが，各年の最高値が９～10月，最低値が３～４月と一般型土捨場の水温のピーク時期よりも約１～1.5か月遅れている．

pHは観測開始当初9.0程度と高い値を示したが，2003年７月までに8.0から6.5へ徐々に低下した．その後は微増傾向を示し，2005年12月では7.5を示した．電気伝導率は観測開始から2004年10月までは水温に対応して変化し，低水温期には500～1,000μS/cm，高水温期には約2,000μS/cmを示した．キャッピング終了後は約2,000μS/cmでほぼ一定であった．

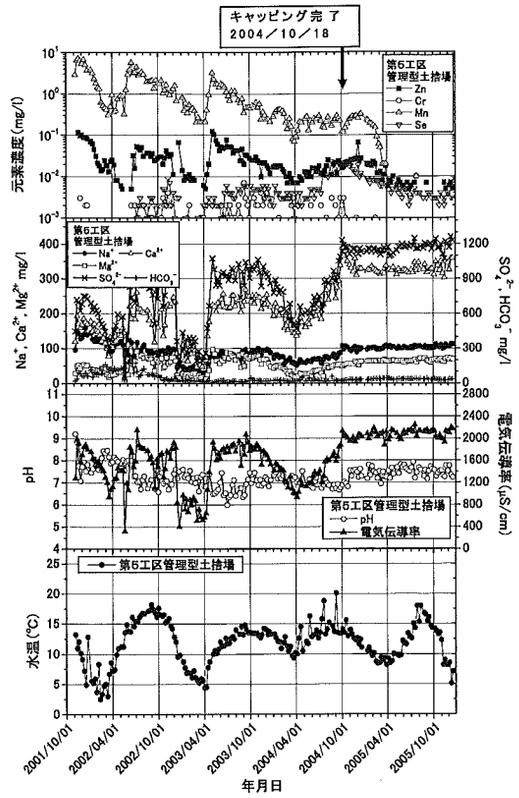


図-8　第５工区管理型土捨場浸出水水質の経時変化[11)]

浸出水中のCa^{2+}，SO_4^{2-}濃度は，観測開始から2004年10月にかけて水温および電気伝導率の変化におおむね対応しながら上昇した．キャッピング後，Ca^{2+}は約330mg/ℓ，SO_4^{2-}は約1,200mg/ℓでほぼ一定となった．また，Na^+，Mg^{2+}は2004年10月までは大局的に水温に対応した変化を示し，キャッピング後に一定あるいは微増傾向を示した．ただし，Na^+は観測開始時から2003年４月にかけて，約150mg/ℓから約30mg/ℓまで低下した．

当該土捨場の浸出水ではMnとZnの溶出が顕著に認められる．これらは水温が上昇する５～６月に急増し，それから翌年の春先にかけて減少するという変動をくり返しながら大局的には低下傾向を示した．2004年の水温上昇期にはこれらの濃度上昇が顕著でなくなり，キャッピング終了後には

顕著な濃度の低下を示した．また，Seは2002年7月から2004年10月にかけて微増傾向を示したが，キャッピング後にはMn，Znと同様に低下した．これらの金属元素などの濃度は，キャッピングまでは排水基準値以下を示し，キャッピング後には環境基準値以下となった．

キャッピング後に浸出水の湧出量が第2工区の場合と同様に徐々に減少するが，電気伝導率やイオン濃度は湧出量の変化にかかわらずほぼ一定の値を示す．

5 土捨場浸出水水質からみた分別処理方法の有効性と問題点

5-1 掘削残土の判定方法の妥当性

以上に述べたように，一般型土捨場浸出水も管理型土捨場浸出水も酸性を示すことはなく，また排水基準値以上の金属元素濃度を示すこともなかった．さらにキャッピング終了後には，重金属元素などの濃度は環境基準値以下を示した．しかし，管理型土捨場ではSO_4^{2-}濃度が1,000mg/ℓを超えることが多く，また排水基準は超えないものの一部の金属元素の溶出も認められた．一般型土捨場浸出水の金属元素濃度は管理型からの浸出水に比べておおむね1桁程度低い濃度であった．また，浸出水中の各イオンのモル濃度を求めると，一般型ではいずれのイオンも5 mmol/ℓ以下であるのに対し，管理型では10mmol/ℓを超えることが多い．とくにSO_4^{2-}濃度の相違は顕著であり，管理型土捨場内部で水-岩石間の反応がより進行し，岩石中の黄鉄鉱の分解による酸性化と，それを中和するための緩衝鉱物の分解が生じていることが推測される．また，金属元素濃度も管理型土捨場浸出水の方が一般型浸出水よりも1桁以上高い濃度を示すことから，管理型と判断された残土からの金属元素の溶出が顕著であったことが明らかである．

これらのことから，図-3に示した岩石の判定方法で掘削残土を評価することにより，溶出能力の異なる残土をおおむね適切に分別し，管理型土捨場に処分すべき残土を的確に管理型土捨場に処理することができたと判断できる．管理型土捨場浸出水でも酸性を示さなかったことから，今回の判定方法では残土の酸性水溶出能力を十分安全側に評価したといえるが，さらに経済的な評価基準値を設定できた可能性もある．また，キャッピング施工前の管理型土捨場浸出水では，重金属元素濃度が環境基準を超える場合がわずかに認められたことから，昨今の社会情勢[12]を鑑みると岩石の評価として妥当であったと考えられる．

5-2 管理型土捨場構造の妥当性について

第2，5，6工区の管理型土捨場ではキャッピングが終了し，これにより土捨場の浸出水量が確実に減少している(**図-9**)．また前述のように，これらの工区ではキャッピング後にpHが安定し，電気伝導率や各イオン濃度が減少するとともに，金属元素濃度の減少も見られた．これらのことから，管理型土捨場の基本理念[10]である土捨場内部への酸素を含んだ地下水および降水の浸透の抑制ができていると判断できる．また，このような水と酸素の供給を低減させることによって水-岩石間の反応が抑制され，その結果として各イオンの溶出や金属元素の溶出が低減されていると考えられる．したがって，八甲田トンネルで施工された管理型土捨場は，酸性水や重金属類の周辺環境への放出を抑制するという観点からは，妥当な構造であると判断することができる．

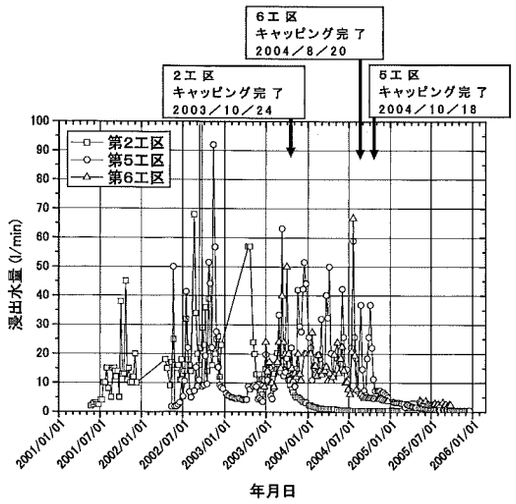


図-9 管理型土捨場浸出水量の経時変化[11]

5-3 今後のトンネル工事への適用上の問題点

以上に述べたように，八甲田トンネルで検討し，採用された掘削残土の分別処理方法は酸性水や重金属などの周辺環境への漏洩に対しては十分安全側の対策であったと考えられる．しかし，今後の同種のトンネルに適用するためには，施工上，経済上の観点からは，以下の点について検討を要する．

① 掘削残土判定は，切羽から採取した岩石試料による評価を基本としたため，分析などの時間的制約から残土の土捨場への搬出が掘削の翌日となり，工程が繁雑となった．

② 最大土かぶりが600mであったため，事前調査に限界があり，切羽の岩石試料の評価を基本としたため，各工区における管理型土捨場の容量の決定が困難であった．

③ 岩石の評価基準値は八甲田トンネルにおける実験結果によるため，汎用的な基準値ではない．

④ 管理型土捨場からも酸性や高濃度の重金属元素を含む浸出水が発生しなかったことから，岩石の評価基準値をさらに経済的な方向に設定できる可能性がある．

⑤ 管理型土捨場の構造として，産業廃棄物処理技術を応用した二重遮水シート構造と漏水検知システムを採用したが，有害な浸出水が発生しなかったことから，より経済的な構造にできる可能性がある．

6 有害元素を含む掘削残土の分別処理方法の提案

前章で述べたように，八甲田トンネルで検討・実施した掘削残土の分別処理方法は，判定方法，土捨場構造ともにおおむね妥当であったと考えられる．しかし，前述のようにいくつかの問題点が挙げられる．そこで今後，八甲田トンネルと同様に有害元素を含む地質が分布する地域でトンネルを掘削する際の掘削残土判定にかかわる調査は，以下のような流れで行うことが望ましいと考える．

まず，事前調査として，以下を行う．

① 資料調査：鉱山跡，鉱床などの分布の把握など

② 地表調査：鉱脈，鉱化変質岩の分布の把握，ボーリング計画の立案など

③ 水平またはコントロールコアボーリング：トンネル位置における地質状況の把握，鉱脈分布の推定およびコア試料の採取

④ コア試料の各種分析：重金属含有量や溶出特性の把握など

⑤ 管理型区間長の推定：④の結果をもとに管理型区間を推定

⑥ 管理型土捨場に関する調査：⑤にもとづく容量の算出，最適位置の決定など

そして，施工中には以下のような調査を実施する．

⑦ 掘削時の切羽観察：地質技術者の観察による地質状況，鉱脈分布の確認およびコア試料との比較，確認

⑧ 定期的な土捨場浸出水のモニタリング

上記①～⑥の事前調査により，基本的な鉱化変質に関する管理型，一般型の判定区分を終了させ，掘削前に管理型残土の概略の容量を把握し，管理型土捨場の容量を適切に見積もることができる．事前のボーリングコア試料の分析は，既存の実験室(地質コンサルタント会社など)で実施することができ，新たな専用の分析機器の設置や分析技術者の常駐は不要となる．ただし，施工中に行う掘削時の切羽観察に際しては地質技術者の常駐が不可欠であると考える．

事前調査のコア試料で各種試験を行うことにより，酸性水や重金属などの溶出に関する評価について溶出試験の結果を最大限に活用することが可能となる．現状では，岩石の長期的な溶出特性を評価する手法は確立されていない．そのため，代表的なコア試料を用いた長期的な溶出試験により，対象トンネル周辺地域に分布する岩石の長期溶出特性を把握し，酸性水や重金属などを溶出する岩石の特徴(例えば，硫黄含有量)を明らかにすることによって，同様の岩石が分布する範囲を管理型と区分することができる．岩石の特徴を把握する

分析項目としては，八甲田トンネルで実施した図-3に示す項目が適していると考える．

近年は環境省の通達(環水土20号)に従い，掘削残土についても土対法に準じて，溶出量試験や含有量試験を行い，法に示された基準値(溶出量基準は環境基本法の「水質汚濁に係る環境基準」と同値)により評価し，処理されている．これらの土対法における試験方法では，短期的な溶出特性しか評価できず，また溶出特性にかかわる残土の岩石学的，鉱物学的特徴が考慮されていない，などの問題点がある．また，土対法の溶出量試験や含有量試験は，あくまでも土壌を対象とした試験方法であるため，掘削残土の評価への適用性については，確認されていない．土木研究所[12]は土対法のこれらの試験を短期リスク試験と位置付け，八甲田トンネルで実施した図-3のような試験を長期リスク試験と位置づけている．今後，掘削残土を評価するための調査・試験方法の確立が望まれるが，その際に溶出試験による評価だけでなく，溶出特性を規制する掘削残土の岩石学的，鉱物学的特性を把握する試験を実施することが望ましいと考える．また，判断の基準は水質汚濁にかかわる環境基準値によるのではなく，現地の地質状況，水文環境，水利用状況などを勘案したうえで設定するべきと考える．

一方，掘削残土の処理方法については，前節で述べたように八甲田トンネルで採用された産業廃棄物処理技術を適用した「管理型土捨場」が，酸性水発生の抑制に効果的である．しかし，管理型土捨場からの浸出水も酸性を示さず，重金属濃度も低く，またこのような構造の土捨場建設には多大な経費を必要とすることからも，より経済的で同様の効果のある土捨場構造の検討が必要である．例えば，通常の土捨場で用いられる覆土のみで，土捨場内部の環境が還元状態になれば，酸性水や重金属などの溶出に関与する酸化反応は生じないことになり，通常の土捨場構造でも十分に対策として有効となる．また，重金属元素などを吸着する天然材料や人工材料を掘削残土の底盤に敷土として敷設する吸着層工法[13]も提案されている．いずれにしても，土捨場内部の環境変化や地盤材料の重金属元素の吸着効率に関する詳細な検討が必要である．

7 まとめ

有害元素を含む掘削残土の分別処理方法について，八甲田トンネルにおける実績にもとづいて検討した．その結果は以下のとおりである．

① 切羽での肉眼鑑定，帯磁率測定，簡易溶出試験および全岩化学組成分析の組み合わせによる掘削残土の判定方法は，酸性水や有害元素の溶出に関して安全側に評価できる．

② 産業廃棄物処理技術を応用した二重遮水シート構造の管理型土捨場は，酸性水や重金属類の周辺環境への放出を抑制するという観点からは，妥当な構造である．

③ 八甲田トンネルにおける掘削残土の判定方法，管理型土捨場構造は，酸性水，重金属類の周辺への漏洩に関して，十分に環境に配慮した手法である．

④ 掘削残土の判定は，残土の岩石学的，鉱物学的特徴にもとづいた溶出特性を評価することが重要であり，これらを事前調査で適切な手法により実施することで，管理型土捨場の容量を適切に見積もることができる．

⑤ 掘削残土の有害物質溶出に関する判定基準は，現地の地質状況，水文環境，水利用状況などを勘案したうえで設定するべきである．

⑥ 土捨場の構造については，通常用いられる覆土による内部の還元化の効果や吸着層工法の適用など，より経済的，効率的構造の検討が必要である．

上記の④～⑥に示した今後の掘削残土の分別処理方法の方針については，建設側と環境保全側の双方にかかわる行政，事業主体，地元住民のコンセンサスが必要であろう．そのためには，掘削残土からの有害物質溶出に関するリスクコミュニケーションが重要となると考えられ，今後はこのリスクコミュニケーションの手法論に関する議論が待たれる．

8 おわりに

本研究を進めるにあたり，八甲田トンネル技術委員会(委員長：須田八戸工業大学名誉教授)の委員の方々には技術上の問題点についてご助言をいただいた．調査・分析にあたっては，八甲田トンネル試験室および八甲田トンネル各共同企業体のご協力をいただいた．(財)鉄道総合技術研究所の木谷日出男博士には多くの議論をしていただいた．以上の方々にここに記して謝意を表します．

参考文献

1) 黒沢邦彦：旧日産戸井鉱山の酸性坑内水について，地下資源調査書報告，Vol.57，pp.1-12，1985.
2) 野坂徹・飯酒盃久夫・川越健・片山政弘・石濱茂崇：建設分野における環境地質的課題―事例報告―，日本応用地質学会平成12年度研究発表会講演論文集，pp.305-308，2000.
3) SINGER, P. C. and STUMM, W.：Acidic mine drainage: the rate determining step, Science, No. 167, pp.1121-1123, 1970.
4) 土木研究所編：建設工事で遭遇する地盤汚染対応マニュアル［暫定版］，鹿島出版会，149p，2004.
5) 仙台市：自然的原因により重金属が環境基準を超える建設発生土の対応について，記者発表資料，http://www.city.sendai.jp/soumu/kouhou/houdou/07，2008年4月14日.
6) 由井俊三・宮城一男・加納博：東北新幹線「八甲田トンネルルート」の地質学的諸問題，日本地質学会東北支部会報，No.10，pp.5-6，1980.
7) 服部修一・太田岳洋・木谷日出男：鉱山地域におけるトンネル掘削残土の管理手法に関する検討，トンネル工学研究論文・報告集，Vol.12，pp.53-60，2002.
8) 服部修一・菊地良弘・太田岳洋：八甲田トンネルにおける鉱化変質岩の産状と調査方法について，物理探査，Vol.55，No.6，pp.513-521，2002.
9) 服部修一・太田岳洋・木谷日出男：酸性水発生に関わる掘削残土の応用地質学的検討―鉱山に近接して施工される八甲田トンネルにおける岩石特性評価法―，応用地質，Vol.43，No.6，pp.359-371，2003.
10) 服部修一・太田岳洋・蓼沼慶正：鉱山地帯を貫く八甲田トンネル掘削における環境対策，地質と調査，No.95，pp.13-18，2003.
11) 服部修一・太田岳洋・菊地良弘：八甲田トンネルにおける掘削残土の酸性水溶出に関する判定手法の評価，応用地質，Vol.47，No.6，pp.323-336，2007.
12) (独)土木研究所・応用地質(株)・大成建設(株)・三信建設工業(株)・住鉱コンサツタント(株)・日本工営(株)：建設工事における自然由来の重金属汚染対応マニュアル(暫定版)，岩石に由来する環境汚染に関する共同研究報告書，共同研究報告書整理番号第358号，91p.，2007.
13) 五十嵐敏文：自然由来の重金属類による土壌・地下水汚染対策の考え方と対策例，EPOCH(日本応用地質学会北海道支部・北海道応用地質研究会会報)，No.53，pp.2-5，2006.

『トンネルと地下』投稿原稿応募のご案内

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

(注：「現場だより」の投稿は受付けしておりません)

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

トンネル ジャーナル

TUNNEL JOURNAL・TUNNEL JOURNAL・TUNNEL JOURNAL・TUNNEL JOURNAL

矢原トンネル貫通

広域農道阿武東２期地区として萩市で建設中の矢原トンネル(307m)で７月30日貫通式が行われた.

同トンネルは今年２月下旬に掘削を開始，約４か月をへて無事故で貫通したもの.

広域農道阿武東２期地区は萩市内の旧阿武郡および阿武町の一体的な農業の展開を目的として整備される施設の一つで，全線開通は平成23年度を目標としている.

鶴岡トンネルが貫通

大分県が整備する佐伯市と東九州自動車道佐伯ICを結ぶ国道217号佐伯弥生バイパスの鶴岡トンネルで８月25日貫通式が行われた.

同トンネルは延長979m，暫定２車線の幅員10.5m．開通による効率的な物流ルートの形成や市内中心部の混雑緩和が図られるとしている.

雪沢第一トンネル着工へ

日本海沿岸東北自動車道の大館北IC−小坂JCT(14.5km)に位置する雪沢第一トンネルの工事安全祈願祭が９月５日，同トンネル坑口で行われた同トンネルは，同市雪沢字支根刈沢と大川目沢を結ぶ2,553m.

隣接区間の雪沢第二，大茂内第一トンネルでは，掘削土の一部にはセレン，ヒ素が超過溶出基準を上回ることが確認されており，雪沢第二トンネルでは高度な土砂処理を行いながらの掘削作業を行っていた.

恋ケ浦トンネル貫通

宮崎県が整備する国道448号小崎バイパスに位置する恋ヶ浦トンネルの貫通式が９月９日現地で行われた.

同トンネルは，平成18年６月の大雨による地滑りで崩落した国道448号の代替路.

甲子トンネル開通

福島県と東北地整が整備を進めてきた，甲子道路(約23km)が９月21日開通した.

開通したのは，甲子トンネル，甲子大橋などを含む地整施工の5.9kmと県施工の3.2km区間，11.5kmは供用済みで，未施工の2.7kmについては現道を利用する.

甲子トンネルは延長4,345mを発破掘削によるNATMで平成15年から施工し同18年に貫通．標高1,004mで，管内の一般国道では，延長で２位，標高で３位となる.

一般国道289号は，新潟県新潟市を起点とし，福島県いわき市に至る総延長約300kmの道路で，福島県南会津郡下郷町から西白河郡西郷村の間は，険しい甲子峠に阻まれ，通年通行不能区間となっており，大きな迂回を強いられていた.

第５回東京都市圏パーソントリップ調査

東京都市圏内の都県・政令指定都市および関係機関が設置する東京都市圏交通計画協議会は，第５回PT調査を10〜11月にかけて行う.

東京都市圏に居住する満５歳以上の居住者(約3,500万人)のうち約9.7％にあたる340万人対象としたサンプル調査で，世帯を単位として住民基本台帳から統計的手法にもとづき，無作為に抽出される.

調査により，都市の交通実態を客観的に分析することが可能となり，各自治体や関係機関が行う将来のまちづくりや交通計画などの検討のための基礎的データとして活用され，総合的な交通ネットワークの検討や，公共交通の促進に関連した検討に利用される.

「局地的な大雨に対する下水道管渠内工事等安全対策検討委員会」が初開催

８月21日，下水道新技術推進機構会議室で「局地的な大雨に対する下水道管渠内工事等安全対策検討委員会」(委員長：古米弘明東京大学大学院教授)第１回委員会が開催された.

同委員会では，近年，集中豪雨が頻発していることや今後とも大雨の頻度の増加や局地化が懸念されることを踏まえ，雨水が流入する管渠における急激な増水に対する安全対策を早急に図る必要があることから，局地的な大雨に対し，雨水が流入する下水道管渠内における工事などを安全に実施するために必要な対応策について検討する.

検討項目としては，①局地的集中豪雨に関する気象予測の現況，②局地的な大雨に対する安全対策のあり方，③安全確保の取り組みなどを挙げている.

また，同委員会では，８月５日に起きた死亡事故をうけて８月６〜12日に行われた下水道管渠内工事の安全対策に関する緊急点検の結果が提示された.

同調査は，管更生，取付管，管渠内設備工事などの130の工事を対象に行われ，そのうち，９割近い112件の現場で工事中止基準の見直しが行われた.

見直し例としては，中止基準として「大雨洪水警報発令時」だったものを，「大雨洪水注意報発令後，降雨が確認された場合」のように，条件を付与したうえで別の基準を採用したものや，「警報発令時」のみだったものに「水位が10cm上昇した時」と基準を追加したもの，また，「洪水注意報発令時」を中止基準に採用したものなどがあった.

連載講座

山岳トンネル先進ボーリング入門(２)

—ボーリング機器とその性能(１)—

山岳トンネル先進ボーリング連載講座小委員会

① まえがき

前号で紹介したとおり，近年ではボーリング技術，穿孔機，工法に多くの進展が見られています．今回はこれら進歩した技術についての紹介と山岳トンネルの先進ボーリングに新たな技術がいかに活用されているか，またどのように活用するのが良いかについて２回にわたって紹介します.

今号では，ボーリングに関する一般的な掘進工法，特殊な掘進工法，それらを実施するために必要な穿孔機について紹介し，次号ではボーリングツールス，さらにはボーリング孔を使って可能な原位置試験などを紹介する予定です.

〈“ボーリング”は日本語？海外ではdrillingが一般〉

前号で紹介したように，日本語で試錐と呼ばれているボーリング(boring)という外来語自身がすでに日本語化していると言ってもよいでしょう．しかし，海外ではボーリングよりもドリリング(drilling)という用語のほうが一般的に使用されています.

ボーリングの方法は，周知のとおり衝撃破砕によるものと回転切削によるものの２通りがあり，前者をパーカッションボーリング，後者をロータリボーリングと称しています.

ボーリングの歴史は大変古く，古代エジプトの紀元前2800年ごろにピラミッド建設用石材調査のため，ロータリボーリングが行われ掘進用研磨材として石英砂を用いたとされています．また，中国では紀元前600年ごろに現在の四川省付近で岩塩調査にパーカッションボーリングが用いられた記録が残っている[1]ことからもボーリング技術は紀元前のころからの歴史をもった古くて新しい技術なのです.

② ボーリング工法とその適応性

最初に各種掘進工法を紹介し，先進ボーリングとしての適合性までを記載します.

ボーリング工法は前号4-1で紹介しましたが，地質資料を採取するコアボーリングと，採取しないノンコアボーリングに二分されます．どちらを選択するかに関する基準は，調査の目的，地質の種類(硬軟)や掘進長などにより異なることから一

表-1 ボーリングの各種工法一覧表

	掘進工法	対応可能な穿孔機の型式
コアリング機器	コアチューブによる普通工法	スピンドル型 パワードライブ型 ターンテーブル型
	ワイヤライン工法(WL工法)	
	シールドリバース工法	トップドライブ型
	PSワイヤライン工法(PS-WL工法)	ロータリパーカッション型
ノンコアリング機器	ハンマー工法 ・エアハンマー　・水圧ハンマー ・油圧ハンマー	スピンドル型 パワードライブ型 ターンテーブル型 トップドライブ型
	ナビドリル(ダウンホール・モーター)	
	ウェルマン工法	
	ノンコアビット(トリコンビット)工法	ターンテーブル型 レイズボーリング型
	その他のノンコアリング工法	ロータリパーカッション型 ドリフター型

概には言えませんが，現在私たちが用いているボーリング機器は表-1のように区分できます．

2-1　コアボーリング機器

コアボーリングの場合は，一般に掘削ツールスの先端部にコアチューブと呼ばれるコアを格納・保護し，孔口まで取り出す冶具が必要となります．この冶具を孔口まで引き出すには，ロッド（3 m/本が一般的）を一本一本引き出すしかありません．長尺のボーリングになると非常に時間がかかるので非能率的なため，コアチューブだけを引き出すという方法（ワイヤライン工法）が発明されました．また，コアチューブが先端にある場合，長尺になるとその抵抗のために掘進がしにくいということもあって，コアチューブを用いないでコアを採取する方法（シールドリバース工法）が開発されました．これらの工法に関し，以下に詳述します．

2-1-1　コアチューブによる普通工法

鉛直ボーリングで多く使用している工法で，土質調査から岩盤調査まで広く採用され，もっとも一般的な工法で普通工法とも呼称されています．

使用するコアチューブには，シングルコアチューブ，ダブルコアチューブ，トリプルコアチューブと多くの種類がありますが，外管（アウタチューブ）と内管（インナチューブ）の組み合わせで，インナチューブにコアを取り込むものすべてをコアチューブと称しています．

コアチューブの長さは，0.5～3.0m間の0.5m単位で作成できますが，1.0m（主に土質調査）と3.0 mものが多用されています．例えば3.0mのコアチューブを使用した場合は，ボーリングロッドの先端にコアチューブが取り付けられ，3.0m長を掘進するごとにボーリングロッドを抜管し，先端コアチューブ内のコアを採取します．以降はこの作業のくり返しになり，3.0mごとに尺取虫のような作業をくり返す必要があり，非常に効率の悪い工法といえます．したがって，あまり深い深度までの掘削には不向きであり，せいぜい200m程度を限界として採用されるのが一般的です．ただし，コア採取率はもっとも高く確実にコアを必要とする場合には，当工法が最適ともいえます．

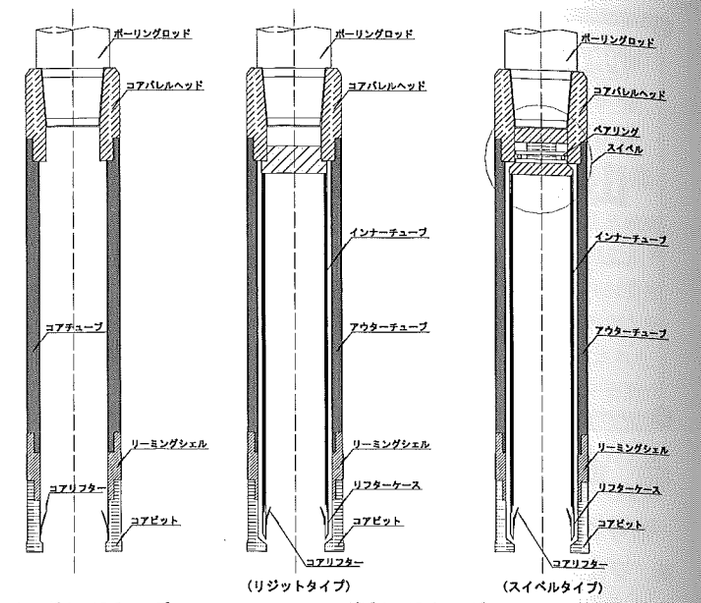


図-1　コアチューブ概要図[5]

インナチューブの先端にはコアの落下防止を目的として内側に板バネが付いたコアリフタが装着されています．

各種コアチューブの選定基準の概略は以下のとおりです．一般に，送水によりコアが流失するか否かが大きな要因となりますので，流失しやすい軟らかな地質ほど重い装備のチューブが用いられることになります．

- シングルコアチューブ：中硬岩以上
- ダブルコアチューブ：軟岩
- トリプルコアチューブ：極軟岩～土砂

図-1に各種コアチューブを示します．

（1）　コアパックボーリング

前号 3-2 で用語のみ紹介しましたコアパックという技術があります．この工法はトリプルコアチューブにヒントを得て，コアリフタにビニールチューブを蛇腹状に折り畳んだものがセットされ，コアを極力乱さず，より長時間にわたって湿潤状態で管理することを目的にコアをビニールで包みなが

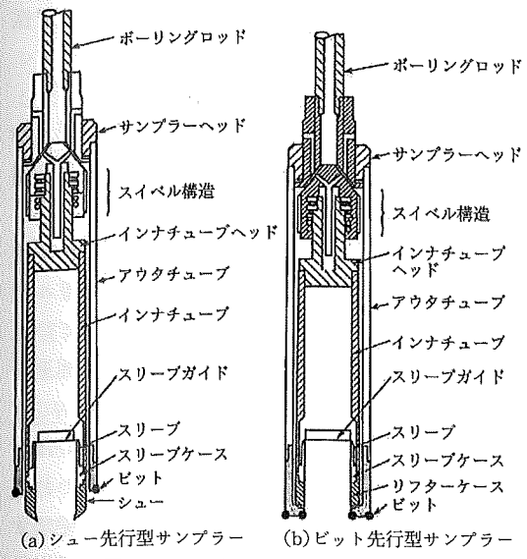


図-2　コアパック式コアチューブ[6]

ら採取できるよう，土質調査用に開発されたものです（シュー先行型）．この技術を用いてコアの採取率が劇的に向上したことから，近年では岩盤ボーリングにも適用されるようになり，次の項で紹介するワイヤライン工法のコアチューブ（ビット先行型）にも応用されています（図-2[6]参照）．

2-1-2　ワイヤライン工法

ワイヤライン（Wire Line，以下WL）工法の歴史は，1950年代に鉱物資源調査を目的としてアメリカで開発された工法です．コアチューブによる普通工法で記述したとおり，長尺となる鉱物資源調査では頻繁にロッドの揚降が必要となり低能率で，しかも掘削深度に限界が生じることから開発されたものと思われます．

コア採取の原理はダブルコアチューブと同様にアウタチューブの中にインナチューブがセットされる形式ですが，コアチューブによる普通工法と決定的に異なるのは掘削ツールスをすべて揚管してコアを回収するのではなく，インナチューブだけを回収してコアを採取する点です．

インナチューブの回収方法は，アウタチューブとWLロッドが同一の内径であることから，図-3に示す銛（先端が鏃のようになった魚を突いて採るときの道具）のような形態のオーバーショット

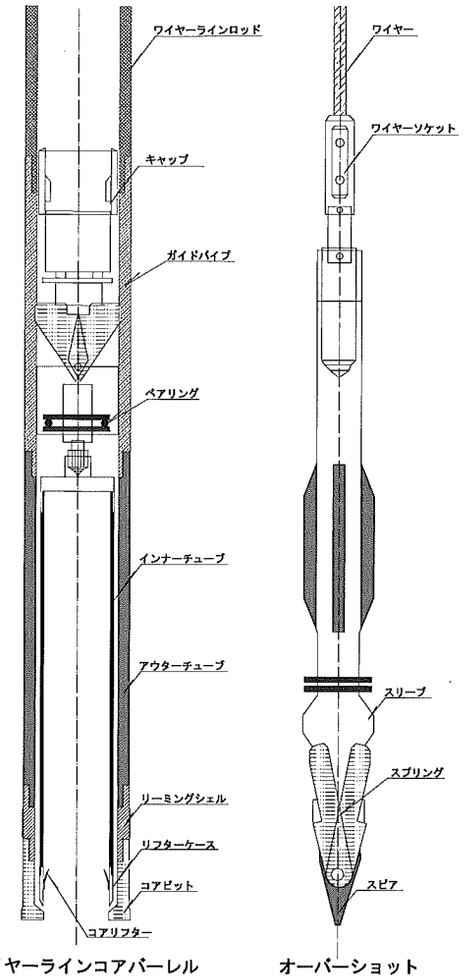


図-3　WLコアチューブとオーバーショット

を高速で先端部に送り込んで（後ろには，WL工法の名称のもととされている孔口とを結ぶ長いワイヤが結ばれている），インナチューブの頭部をキャッチした後，WLホイスト（φ 6 ㎜ワイヤロープをセットしたウィンチ）で巻き上げるという方法をとっています．巻き上げが終了したらスペアのインナチューブをWLロッド内に再挿入します．管内は掘削循環水で満たされていますから，インナチューブはほうりこまれてもゆっくりと下降していって，アウタチューブのラッチに到達したところでセットされるようになっています（図-3参照）．

現場でよく見かける光景として，オペレータがロッドにパイプレンチを噛ませてその柄に耳を押

し当てている姿があると思いますが，これはインナチューブがアウタチューブのラッチにセットされるときの音を確認しているのです．これを確認しないで掘進を開始すると，アウタチューブ先端にコアが詰まってしまい，全管を揚管しなければならない事態を生じてしまいます．

上記は鉛直ボーリングの場合の記述ですが，WL工法を水平ボーリングに使用する場合は，オーバーショットにゴムパッカーを取り付け送水ポンプで圧送し，インナチューブの回収および挿入を行っています(図-4参照)．

当工法は孔壁崩壊などによるトルクの上昇でやむを得ず揚管する場合を除けば，基本的にビット交換以外は揚管の必要がないことから非常に掘進能率の高い工法といえます．また，今までは困難とされていたコアパック形式のコアチューブがWLに応用され，破砕帯など劣悪な条件のコア採取に活躍しています．

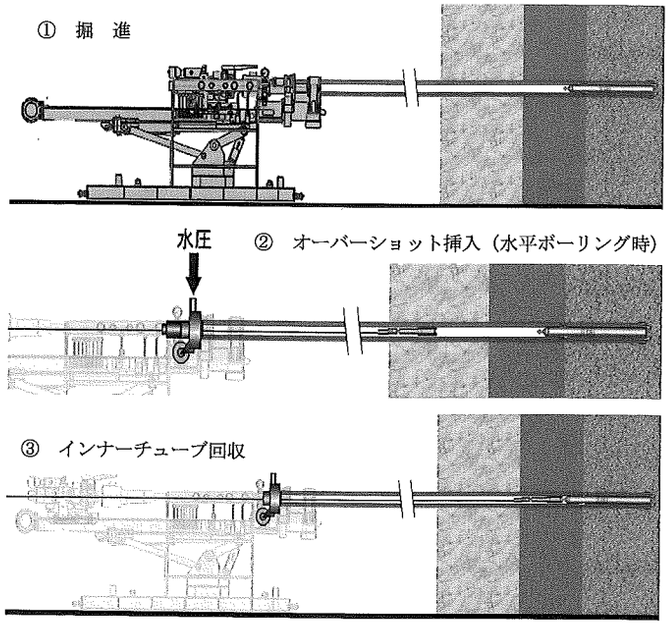


図-4　WL工法インナチューブ回収手順[2]

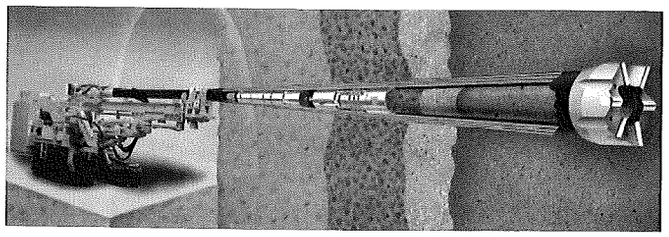


図-5　PS-WL工法の掘進イメージ[2]

2-1-3　PSワイヤライン工法

当工法(以下，PS-WL工法と呼ぶ)は前記したWL工法をロータリパーカッションドリルで使用可能にしたものです．

すなわち，ロータリパーカッションドリルを使用したコア採取工法であり，従来のスピンドル型ボーリングマシン(回転・給圧)で行われていたWLコアリング工法に打撃を加えて，高速掘進を可能にした工法です．

従来のWL工法は，回転力，給圧力あるいはバランス力で数千mに及ぶいわゆる深尺と言われる調査(例えば，鉱石調査や地熱調査)などで使用するツールシステムで，原則的にはビット交換以外ではロッドの昇降をしないでコア採取ができるといった大きな特長がありますが，そのツールシステムは極限まで軽量化(当然，ロッドなどは肉薄となる)が図られており，掘進に必要な力にも材料強度の面で制限があり，このシステムに打撃を加えることなど全く不可能と考えられていました．このWL工法の欠点を補える，打撃・回転・給圧掘削による高速削孔が可能なロータリパーカッションドリルとを兼ね合わせた削孔ができれば，WL工法とは比較にならないほどの高速掘進によるコア採取が可能となります．このような目的でツールスの開発から始まり実用化されたのがPS-WL工法です[3),4)]その代表的な機種として，鉱研工業のアローードリル(図-5参照)や三菱MDシリーズがあります．

ロータリパーカッションドリルにはスキッド型とクローラ搭載型の2種類ありますが，後者に汎用性があり，仮設・撤去が速やかに行え，しかも高速掘進が可能であることから近年ではトンネル切羽からの先進ボーリングにもっとも多用されています．このロータリパーカッションドリルの原型となったのが，前号の冒頭で紹介したビューラで，ビューラと同時期に輸入されたドイツのクルップも参考にして，新たに開発製作されたのが前記しましたRPDシリーズ(通称アローードリル)や三菱のMGシリーズです．

多くの場合はノンコアドリリングとして，スライム鑑定，掘進スピード，給圧力，トルクによる地質判定と湧水記録による切羽前方探査として活用していますが，詳細調査の必要性がある場合にPS-WL工法を採用しているのが現状です．

PS-WL工法は高速掘進を行うためにパーカッション機能を併用することから，軟岩以下の強度の地質では，コア採取が困難な場合もあり，そのため2006年には土砂地山から軟岩対応のPS-WL用の特殊コアチューブも開発されています．

2-1-4　シールドリバース工法

1967年に青函トンネルの北海道方で先進導坑の掘削が開始されてから同時に先進ボーリングも必要不可欠な切羽前方探査となりました．当初は一般的な回転式穿孔機でWL工法を採用して行っていましたが，津軽海峡の海底部ということもあり，高水圧多量湧水の特殊条件下でWL工法のように先端部が閉塞型のコアチューブ形式では掘進不可能となることが多々ありました．この問題に対処するため，試行錯誤しながら新しい掘進工法とそれに適合する穿孔機の開発が検討され，口元から先端までストレートの口径でしかも2種類の異径パイプをダブルで使用するシールドリバース工法とトップドライブ型穿孔機(TOP型，FS型)が1973年にほぼ完成型となりました．

シールドリバースとは，外管がケーシングパイプ(シールド)の役をなし内管が掘進を担当し，この二重管のクリアランスから掘進用循環水を送り，先端まで届いた循環水が，湧水とともに内管を通って穿孔機の後方位置で排水されるという，まさしく一般のボーリングの循環経路と逆循環(リバース)をなすシステムです．この排水(循環水)とともに掘進されたコアが流出してくるシステムであることから，切削された地山はすべて回収できるわけですが，何百mも循環水＋湧水と一緒に流れてくるため，軟質な地山の場合は，土砂状を呈してしまう欠点があります(図-6参照)．

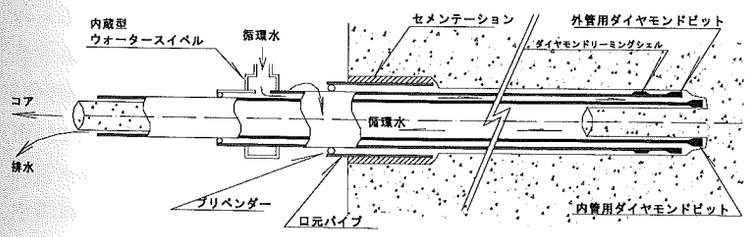


図-6　シールドリバース工法概要図

当工法が開発された後の青函トンネルの先進ボーリングは，先進導坑および作業坑から掘進長700m/1孔でカバーロック分を重複させながらシステム的に実施されました(1孔での最大掘進長に2,150mの記録があります)．

当工法で計画する場合は，穿孔機の大きな反力設備やボーリング専用ヤード(横坑やトンネルの拡幅)が必要となり，コストも高くなることから当工法でなければ対応できない地質条件のなかで採用されています．

近年では，権兵衛トンネルや飛騨トンネルで活躍した実績があります．ただし，飛騨トンネルにおいては6 MPaにも及ぶ高水圧に対して能力の限界を感じさせられました．

2-2　ノンコアボーリング機器

2-2-1　エアハンマー

近年では泥水を必要としないエアハンマーが開発され，とくに山岳土木工事(地すべり工，道路拡幅工，治水工)における岩盤掘削工事で多用されるようになりました．ステニックハンマーなどとも呼ばれ，エアコンプレッサーからボーリングロッド内に圧縮空気を送り込み，ロッド先端のハンマー本体内のピストンを稼働させてビットへ打撃力を与え，岩盤を破砕する掘進方式になっています．破砕されたスライムはエアの流速により孔口に排出されます．この掘進方法は極硬岩や転石の破砕を迅速に行ったり，給水設備が不要なことから汚泥を発生しない

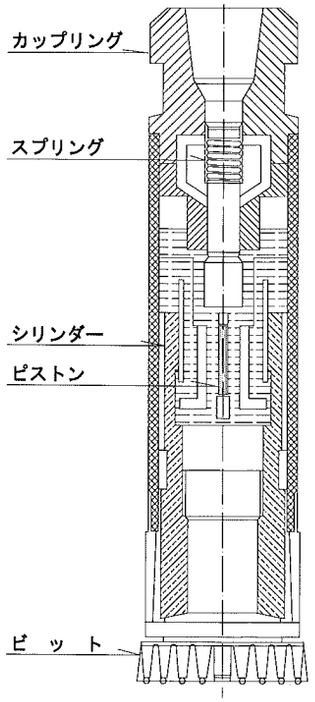


図-7　エアハンマー概要図

などの利点はありますが，エアハンマーの稼働最低圧力が0.7MPa以上を必要とするため，掘進長が大きくなったり，湧水量や湧水圧力が増大した場合には打撃力が低下し，掘進の限界に至ることが多くあります．

トンネルの先進ボーリングで本格的に採用したのは国道158号の安房トンネルで，多量の地下水が貯留されていると想定されていた新期火山岩に早く到達するために中・古生代の極硬岩(主にチャート)を早く掘ろうと考えて使用しました．結果は1.4MPaの高圧コンプレッサーを導入したにもかかわらず極硬岩中で高水圧と多量湧水に阻まれ，ハンマービットへの背圧が大きくなり途中で断念しています．そのため，ダイヤモンドビットでの切削(シールドリバース工法)に切り替え掘進し，当初の調査目的を達成することができましたが，極硬岩のチャートや砂岩を掘進したためダイヤモンドビットを多量に使用する結果になりました(図-7参照)．

2-2-2　水圧ハンマー(Wassara)

40年近く前に開発された方式のハンマーですが，なかなか効率の良い実績が得られず活用されない状態にありました．近年新たに改良が施されて水圧を利用したハンマー(Wassara)としてよみがえり実績を上げているものです．

原理はエアハンマーと同様ですが圧搾空気に代わって100ミクロンフィルターを通した水を13～18MPaの圧力でハンマーに供給することで稼働し，パワーの伝導率が効果的なことからサイクルタイムの短縮にもなっています．また，エア方式と比較して騒音と粉塵が低減され，さらに潤滑油を使用しないことでオイルフリーとなり，坑内環境の維持にも寄与できています．

前号の「連載をはじめるにあたって」で概説した筑紫トンネルにおいて18時間で200mを掘進するなど，驚異的な性能を発揮しています．

機器の詳細は，施工事例(九州新幹線筑紫トンネル)のなかで紹介いたします．

2-2-3　ナビドリル(ダウンホール・モーター)

当工法は前号の 8-2 で紹介しましたが大深度掘進に採用される工法であり，孔芯制御(孔曲げ)が可能な機種もあることから主に石油掘削に使用されています．一般的なボーリングでは回転システムが穿孔機にあるのに対して，ナビドリルは先端ビットを取り付けた本体部分(孔底)に回転システムがあります．したがって，ロッドは回転せず地上とナビドリル本体を連結し，回転の動力源となる水や泥水あるいは油の経路となるわけです．孔底にある本体は内部が螺旋状のタービンモータをなしており，水圧，泥水圧，油圧で先端が駆動するシステムとなっています．このことから，孔内トラブルがない限りはビットが摩耗するまで揚管の必要がなく，非常に効率的な掘進システムと言えます[7]．

ナビドリルを主に採用して実施されているものに日本海洋掘削(株)のリードドリル工法があります．機械が大型であることから，トンネル坑内からの先進ボーリングには不向きと考えられていましたが，九州の赤松トンネルで坑内から排水管路設置を目的に240mを掘進した実績(佐渡では導水管設置に650mの実績)があります[8]．

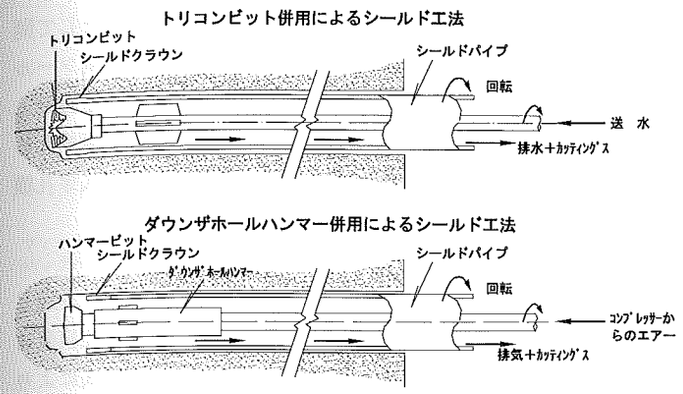


図-8　ノンコアによる掘進方法[6]

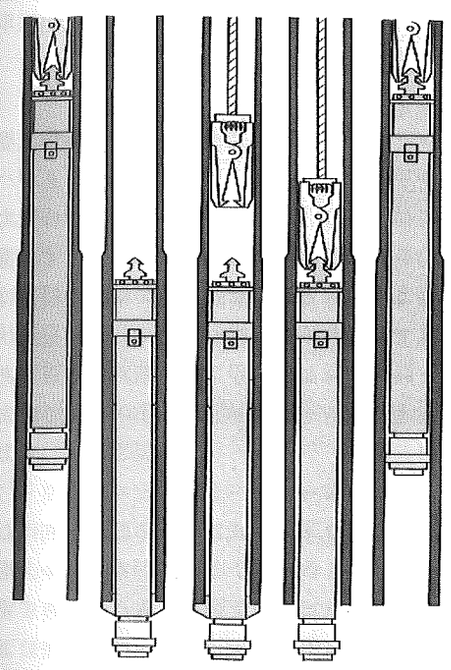


図-9　ウェルマン工法概要図

2-2-4　トリコンビット

トリプルコーンビットの略称であり，本来は石油掘削を目的に開発されたビットです．鉛直ボーリングでトリコンビットのすぐ上部にドリルカラーというカウンター(重り)を載せて大荷重と回転で岩盤を圧砕していく掘進方式です．トリコンビットの径はインチで表示され，ビット直上に載せるカウンターは１インチあたり１tが適正とされており，例えば 5' 5/8 インチ(145.9mm)トリコンビットの場合は６t近いカウンターが必要となることからカウンターを利用できない水平ボーリングでは不適合とされています．

ただし，先進ボーリングの口元管の設置など大口径(φ200～300mm)での掘進が必要な場合に利用しています(図-8参照)．

2-2-5　ウェルマン工法

当初はノンコアボーリングで開発されたことからノンコアボーリングとして紹介いたしますが，現在はさらに開発が進みコアリングシステムも可能となっています．

ウェルマン工法は，ラッチやロッキング機構などを活用して内管先端に装着されたビットにより掘進し，ビット交換を垂直ボーリングにおいてはワイヤライン方式で，水平ボーリングで二重管を採用する場合には外管を存置したまま内管のみを揚管して，先端に装着されたビットの交換を可能とした工法です．

通常の掘進方式では，ビット交換時に掘削ツールスをすべて揚管する必要があり，劣悪な地質に遭遇した場合，ビット交換のためロッド昇降を頻繁に行うことで孔壁支持力のバランスを崩して孔壁崩壊を生じることなどがあります．ウェルマン工法は裸孔にすることなくビット交換が可能なことから保孔性能に優れた工法といえます(図-9参照)．

③　先進ボーリングへの適応性

前号 3-1 で紹介したとおり，先進ボーリングの始まりは1918年に着工した丹那トンネルといわれています．しかし，鉱山調査ではさらに古くから活用(普通工法)されており，ダイヤモンドビットの歴史をみると1876年にアメリカからブラックカーボンの手植えビットが紹介され，九州の高島炭鉱で使用された記録があります．また，金属鉱山では1907年に日立鉱山で使用されたとあります[1]．

地山が中硬岩以上で構成されコア採取が必要な場合は，必然的にダイヤモンドビットを使用しなければならなくなります．当然，高価なビット(高価と言っても宝石用ダイヤモンドと異なり，

色や輝きから宝石にならない工業用のため，1カラット(0.2g)あたり1万数千円)であるためにそのビットライフ(1個での掘進長)が先進ボーリングのコストに大きく影響することになります．

前記した工法の中でシールドリバース工法がもっとも長尺掘進の事例が多く，地質や地下水について多くの情報を得られることから先進ボーリングとしてもっとも適合すると考えられますが，WL工法と比較して口径が大きいことから当然ダイヤモンドビットの埋め込みカラット数も多く高価となります．また，仮設・撤去も大掛かりになることから全体にコストが高くなるため掘進長300m以上で多量湧水や高水圧が予測される先進ボーリングに限り採用されることが多くなっています．

一般的なトンネルの先進ボーリングでは切羽作業の停止する週末に100～150m掘進可能なロータリパーカッションドリル(ノンコアあるいはPS-WL工法)の採用がもっとも合理的と考えられ多く採用されています．また，岩石試験や原位置試験を目的としている場合は，原地山に近いサンプリングが必要となり，孔壁も乱すことなく掘進しなければならないため，ロータリ式穿孔機を用いたWL工法やコアチューブによる普通工法の採用が適合するといえます．

④ 穿　孔　機

ボーリングの穿孔機はその目的や条件により，多種多様なものが開発されています．穿孔機は，その機構により分類すると先に記載したように回転切削と衝撃破砕に分類されます．さらに，穿孔装置により分類すると次のとおりになります(図-10参照)．

4-1　回転式穿孔機

回転式穿孔機は主に地質調査や地下資源の探査などのコアリングによる試料採取を目的として開発されたものです．回転式穿孔機は，掘削ツールスに回転と給圧を同時に与えるための回転機構と給圧機構を持ち，さらに掘削ツールス昇降のための巻き上げ機構を装備しています．回転式穿孔機の穿孔装置による分類を以下に示します．

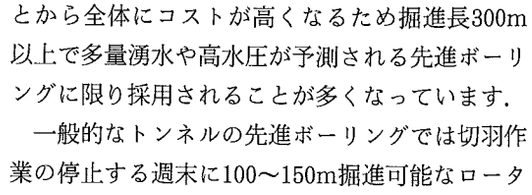


図-10　穿孔機の分類[2]

4-1-1　スピンドル型

原動機の回転動力は伝達装置(クラッチ)を通じて変速装置に伝導し，選んだ回転数を穿孔装置に伝える伝導機構になっています．給進方式により次の3種類がありますが，山岳トンネルにおける調査ボーリングでは主に油圧フィード式が採用されています．

(1)　ハンドフィード式

ハンドフィード式穿孔機は，構造も操作も簡単ですが手動操作(名前のとおりオペレータがハンドルに体重をかけて給圧を与える)のため強力な給進力をスピンドルに与えることができず深掘り機としては用いられません．この機構の特徴は手動方式であるため掘削中の岩質の変化，掘進状況，ビットの切れ味などが手で感じ取れることであり，現在は主として土質調査用に用いられています(図-11参照)[2]．

(2)　スクリューフィード式

スクリューフィード式はネジの原理を利用した回転差動式で，例えばナットを固定しボルトを右に回すとボルトはナットの中に入っていきます．すなわち，ナットの回転とボルトの回転差によりボルトはナットの中に入ったり，出たりする原理を利用したものです．この機構の特徴は，機械本体が小型・軽量で，簡素な構造であることから分解，組み立て修理が容易なことにあります．しかし，岩相の変化に応じての調節に時間を要するため，岩相変化の激しい地層には不向きであるといえます(図-12参照)[2]．

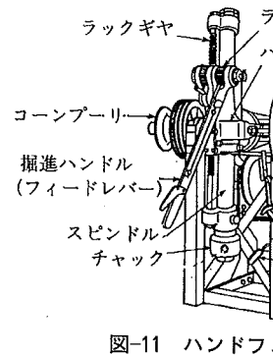


図-11　ハンドフィード式穿孔機[2]

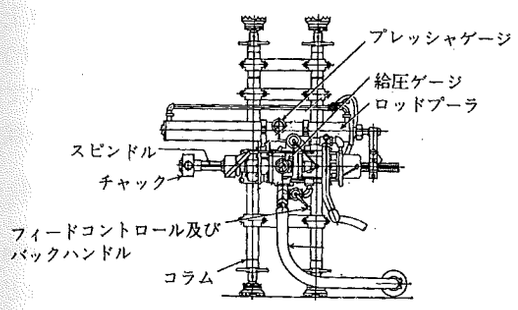


図-12　スクリューフィード式穿孔機[2]

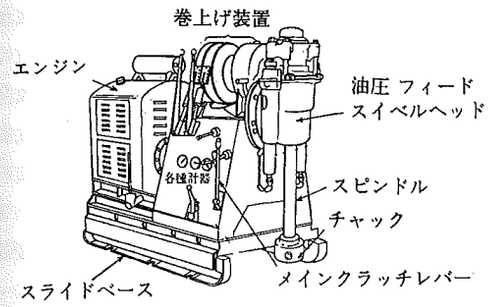


図-13　油圧フィード式穿孔機[2]

4-1-2　トップドライブ型

トップドライブ型穿孔機は，回転機構においてスピンドル型とは異なり，穿孔装置に原動機を直結した駆動方式であります．穿孔装置がフレーム上を移動するのでフレームを長くすることによりストローク長を必要に応じて長くすることができます．給進機構はチェーン方式(図-14参照)を採用しており油圧シリンダーとチェーンの組み合わせあるいはオイルモータとチェーンを組み合わせる方法があります．穿孔装置に直結する原動機は油圧モータと電動機の両方があり，パワーユニットとコントロールユニットおよびドリルユニットにそれぞれ分離されています．さらに回転数・給圧力・フィードスピードの制御が無段階にできるので広い範囲の地層に対応できます．このタイプは水平ボーリング機械に多く利用されており，青函トンネルや上越新幹線中山トンネルなどの先進

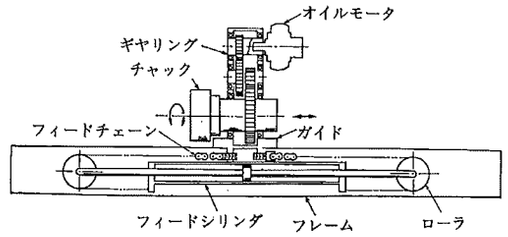


図-14　チェーンフィード方式[2]

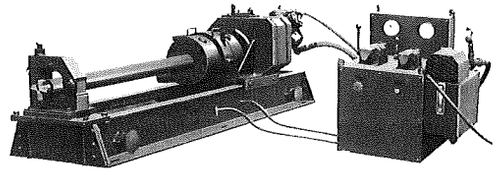


写真-1　トップドライブ型穿孔機[2]

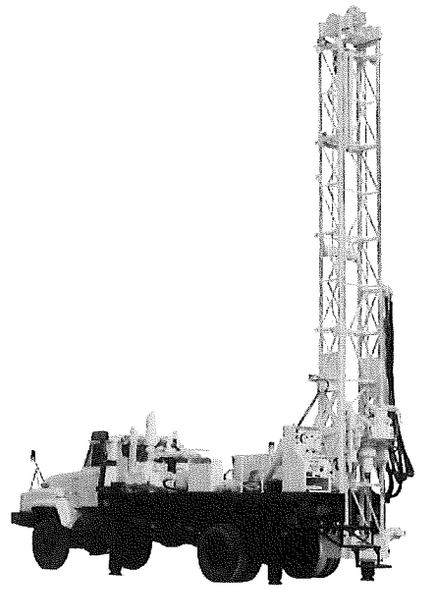


写真-2　トラック搭載トップドライブ型穿孔機[2]

ボーリングに使用され，輝かしい成果を上げた穿孔方式です．

前記したシールドリバース工法はこの穿孔機によりコアの採取を行う工法で(**写真-1**参照)，ウォータウエルドリルとしてトラック搭載型水井戸機が開発され，アフリカや中近東の地下水開発で活躍しています(**写真-2**参照)．

4-1-3　パワードライブ型

パワードライブ型試錐機は，玉石・砂礫層・破砕帯などの悪条件下にある地質での大口径穿孔機として使用されています．この機械の回転機構は変速装置より垂直に立ち上がったドライブシャフトを通じて穿孔装置に回転が伝導される機構になっており，給進荷重は油圧シリンダーの作動力を利用し，穿孔装置がガイドフレーム上を移動する方式になっています．この方式の機械はスピンドル型に比較してトルクも大きく，低速回転ができるので大口径掘削に適した機械で，一般土木の場所打ち杭掘削，水井戸掘削などに用いられています(**写真-3**参照)[2]．

4-1-4　ターンテーブル型

ターンテーブル型試錐機は大正のはじめのころアメリカより輸入され，油田・ガス田などで使用され，今日に至っています．ロッドおよびビットは回転するテーブルからケリーロッド(角型ロッド)に伝達して行われ，ビットの給圧・給進はツールスの自重(トリコンビットとドリルカラーの組み合わせ)によって行われます．ロッドの引き上げは別に備えている強力な巻き上げ機(ウインチ)で行われます．従来，石油掘削方面に利用されていましたが，最近大口径掘削機にもこの方式が採用され土木業界で活用しています[2]．

4-1-5　レイズボーリング型

前号の4-4で紹介したレイズボーリング(raise boring)は鉱山やトンネル，地下発電所工事などでの立坑，斜坑および水平坑道の大口径掘削に用いられ，地表と地下坑道または地下坑と地下坑道の2点間を連結するため，1点に機械を据え付け，他点に向かってパイロット孔を掘り，そこで大径のビット(最大φ6,000㎜)と交換し，機械の位置まで引き寄せながら拡孔するシステムです．この方法にはパイロットダウン・リーミングアップまたはパイロットアップ・リーミングダウンの2通りがあります．

レイズドリルは，レイズボーリングで使用する掘削機であり，1960年代アメリカおよびドイツでレイズドリルの開発が公表されましたが，わが国では1966年鉱研工業(株)が同和鉱業(株)と共同開発で製作し，その後ビッグマンの愛称で製作されました．青函トンネル海底部が着工して作業坑と先進導坑を連結する換気立坑の掘削に採用されたのを始めに，水力発電所の立坑などで多用されています．

レイズドリルは全油圧式で，すべての制御がコントロールユニットで行われるようになっています．この方式の主な特徴は最初にパイロット孔を掘進し，次にこれを引き上げ拡孔することにより強力なビット荷重をかけることができ，一軸圧縮強度が数百MPaに及ぶ超硬岩から軟岩に至るまで，どんな地層も大口径で掘進ができることです(**図-15**参照)[2]．

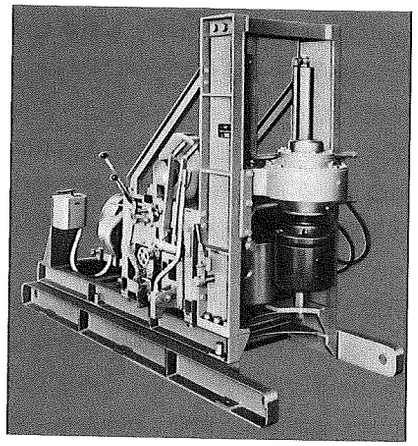


写真-3　パワードライブ型穿孔機[2]

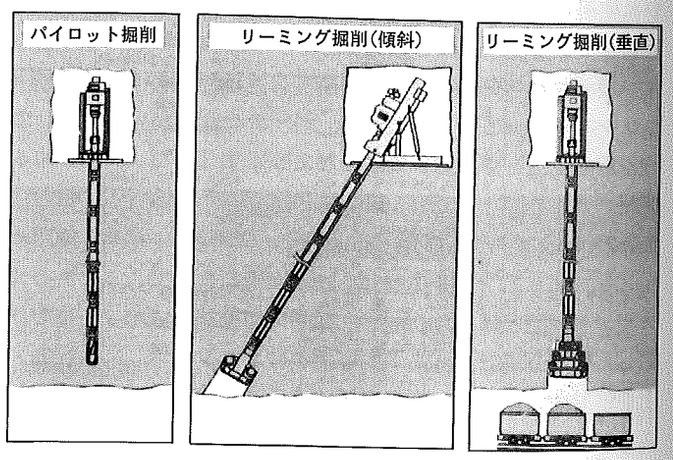


図-15　レイズボーリング概念図[2]

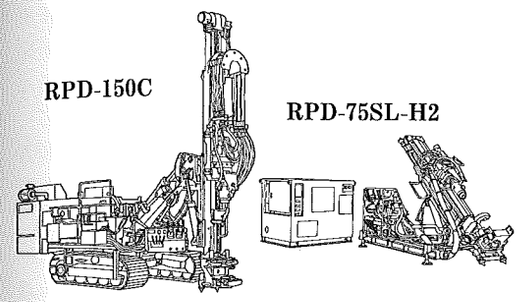


図-16　回転打撃型穿孔機[2]

4-2　回転打撃式穿孔機

4-2-1　ロータリパーカッションドリル型

回転打撃式穿孔機は回転機構と打撃機構を併用した急速穿孔が可能な穿孔機でロータリパーカッションドリルがその代表的なものです．トンネルの先進ボーリングで多用され，アロードリルの名称で通じているのがこの型式です．ロータリパーカッションドリルは全油圧方式の回転部と打撃部を一体化したドリルヘッドを備えています．打撃力は油圧により打撃部内のピストンを急速に移動することで得られ，回転は油圧モータで駆動され強力な回転力が与えられます．とくに回転式穿孔機では掘削困難な礫層・転石層の掘進に効果があり，全油圧式のため打撃力，回転力ともに無段階調整ができることから各種の地層に対応できるようになっています．使用目的は短時間での調査を要求されるトンネル坑内からの先進調査や土壌汚染調査，また二重管掘削機能を付加していることよりアンカー設置工事などの穿孔に多く採用されています．前記したPS-WL工法はこの穿孔機により急速施工でコアの採取を行う工法です[3](**図-16**参照)．

4-2-2　ドリフター(ドリルジャンボ搭載)型

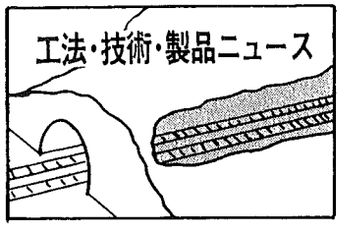
前号の「長さによる分類」の中で短尺に分類されるボーリングが主として，この機械で実施されています．元来，トンネル施工でロックボルトを打設するためのドリルジャンボという機械でドリフター(穿孔機)を2連あるいは3連搭載しているものです．

ロックボルト打設用ですからスクリュー式ロッドにφ45～65㎜程度のビットを取り付けてシングル掘進するシステムで，地質状況にもよりますが掘進長は30m程度が一般的です．いわゆる「探り削孔」に使用され，ノンコアですから地下水の情報を得ることを主としています．ただし，最近ではトンネル工事に携わる建設会社各社でさまざまな挑戦が成され，打撃エネルギー，ノミ下がり(掘進スピード)，トルクなどの情報をパソコンに取り込んで，切羽前方の地質情報をより正確に分析し，把握することもなされています．

(文責：北原秀介・鉄道・運輸機構/田中徹・鉱研工業(株))

参　考　文　献

1) (株)利根ボーリング編：ボーリング技術者便覧，平成元年6月改訂版．
2) 鉱研工業(株)編：ボーリングの基礎(改訂版)，2004.4.
3) 今村大介：パーカッションワイヤラインサンプリング工法―地質調査とボーリング技術の最新事情―，建設機械，Vol.43，No.2，pp.14-18，2007.2.
4) 生森敏・今村大介：地質調査とボーリング技術の最新事情―ロータリパーカッションドリルマシンを使用したトンネルの先進調査ボーリング―，土木施工，Vol.46，No.10，pp.93-98，2005.10.
5) (株)利根ボーリング編：ボーリングテキスト(機械器具編)，1989.4.
6) (社)全国地質調査業協会連合会編：ボーリングポケットブック第4版，(株)オーム社，2003.8.
7) クリステンセン・マイカイ：ホームページ，http://www.kmaikai.co.jp
8) 日本海洋掘削(株)：ホームページ，http://www.jdc.co.jp



セメントスラリーを浸透注入する液状化対策技術

微粒子化グラウト工法開発グループ(チダエンジニアリング，淺沼組，太洋基礎工業，鉄建建設，東亜建設工業，東洋建設)は，既設構造物の直下，およびその周辺部などの地盤の液状化対策技術として，これまで広く行われてきた薬液注入工法のグラウトよりも安価なセメント材を微粒子化して浸透注入する「微粒子化グラウト工法」を開発した．

同工法で用いる注入材の微粒子化グラウト材は，セメントと分散剤を現地でグラウトミキサを使ってスラリー状にし，高圧ジェットポンプから微粒子化装置に圧送し，微粒子化装置内の受圧版に照射させることで製造する．この微粒子化グラウト材を砂地盤に浸透注入させることで改良体を形成し，地盤改良を行う．

使用するセメントは市販セメントのため材料費が大幅に低下し，従来の懸濁型グラウトを使用する薬液注入工法と比較してコストダウンを図ることができるとしている．

適用対象としては細粒分含有率の少ない砂地盤などを想定している．

リジッドダンプトラックを発売

日立建機は，EH3500ACⅡリジッドダンプトラック(定格積載質量185t)を大規模鉱山向けに発売した．

同機は，AC駆動方式を採用し，エンジンは米国のEPA(環境保護局)排出ガス2次規制に適合しているなど，全世界に供給可能となっている．

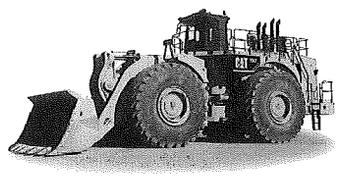
AC駆動方式とは，エンジンで発電機を駆動し，その電気をインバータ等の制御機器で制御した後，交流(AC)モータを駆動し走行する方式．機械駆動式に比べると，トランスミッションやデファレンシャルギヤなどの機械装置と，その潤滑油類が不要であることにより，維持費の低減が図れる．



CAT最大のホイールローダ

キャタピラージャパンは，鉱山現場を中心に活躍する，CATブランド最大のホイールローダを発売した．

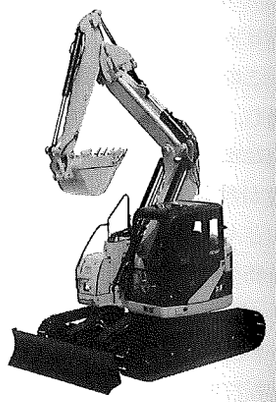
新発売したCAT 994F(バケット容量19m³)は，従来機に比べ排気量を13%アップしたエンジンを搭載した．また，作業機用ポンプの改良などにより，生産性を向上させるとともに，ガラス面積，キャブ容積を拡大して，良好な前方視界と居住空間を実現した．



13トンクラス油圧ショベル超小旋回機を新発売

キャタピラージャパンは，小さな旋回半径を活用した都市部の工事や管工事，道路工事などの現場での使用を想定した13tクラスの油圧ショベル超小旋回機CAT 313D SR「REGA」(バケット容量0.45m³)を発売した．

同機は，昨今の燃料価格高騰を背景に高まる省燃費へのニーズに応え，従来機と同等の時間あたり作業量を維持しつつ燃料消費量を低減，新採用の「エコノミーモード」もさらなる燃料消費量の低減に効果がある．また，排出ガスに含まれる有害物質を大幅に低減する新世代環境対応型エンジン「ACERT®」を搭載し，オフロード法に適合するとともに，国土交通省低騒音型建設機械にも適合(申請中)している．



4トンクラスミニ油圧ショベル

キャタピラージャパンは，4tクラスミニ油圧ショベル超小旋回機CAT 304C SR「REGA」(バケット容量0.11m³)を発売した．

同機は，上下水道などの管工事，道路工事，宅地造成，建築基礎工事などの都市土木工事を想定した機種で，オフロード法に適合するエンジンを搭載するとともに，国土交通省超低騒音型建設機械にも適合(申請中)する優れた環境性能を備えた．また，高出力エンジンの搭載とポンプ性能の向上により，掘削性能を大幅に向上させている．



社団法人 日本トンネル技術協会

会報

1. 会員の現状

	8月25日現在
正会員	1,952名
団体会員	351名
個人会員	1,601名
名誉会員	1名
計	1,953名

2. 委員会の開催状況(8月1日～31日)

①調査研究関係委員会

◎技術委員会

保守管理小委員会：8/1(林康雄委員長ほか14名)データ活用事例を検討

都市トンネル小委員会幹事会：8/4(小岩敏男幹事長ほか8名)作業方針を検討

山岳工法小委員会

支保WG：8/7(深沢成年主査ほか21名)調査方針を検討

安全環境小委員会

災害事例調査WG準備会：8/7(藤田進一幹事ほか10名)作業計画を検討

八甲田トンネル特別委員会小幹事会：8/18～19(朝倉俊弘委員ほか11名)現地視察他

耐震設計検討特別委員会幹事会：8/20(蒋宇静幹事長ほか17名)作業方針を検討

計　6回開催　87名出席

②運営広報関係委員会

◎総務委員会

企画運営幹事会：8/26(藤原基文副幹事長ほか9名)協会運営方針を検討

広報小委員会

会誌WG：8/6(大島洋志主査ほか11名)9月号の会誌と3か月計画を検討

◎国際委員会・企画調整幹事会合同：8/8(猪熊康夫委員長ほか9名)活動方針を検討

対外広報WG：8/4(小島宗隆主査ほか7名)修正原稿を確認

海外文献小委員会

海外ニュースWG：8/20(小島宗隆主査ほか8名)海外ニュースを翻訳

◎事業委員会：8/26(桑原彌介委員長ほか17名)催物事業計画を検討

計　6回開催　67名出席

合計　12回開催　154名出席

3. 国際会議の開催予定

会議名	開催日	場所	主催者等
第35回ITA総会およびコングレス「都市と環境のための安全なトンネル工法」	2009. 5. 23～28	ブタペスト(ハンガリー)	Hungarian Tunnelling Association(ハンガリートンネル協会) International Tunnelling and Underground Space Association(国際トンネル協会) http://www.wtc2009.org

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

4. 平成20年度催物開催現況

催物名	開催日	人数	場所
(見学会)			
名古屋市下水道現場研修会	2008. 6.19	15	愛知県
名古屋市地下鉄現場研修会	2008. 6.20	13	愛知県
交差点立体工事現場研修会	2008. 7.25	18	神奈川県
都下水道現場研修会	2008. 7.30	17	東京都
首都高速中央環状新宿線現場研修会	2008. 8.19	18	東京都
福岡市下水道現場研修会	2008. 9.12	20	福岡県
北関東自動車道トンネル現場研修会	2008. 9.19	20	栃木県
北海道道路トンネル現場研修会	2008. 9.25～26	50	北海道
北海道新幹線トンネル他現場研修会	2008.10. 9～10	30	北海道
仙台東西線 青葉山トンネル他現場研修会	2008.10.17	20	宮城県
(施工体験発表会)			
第62回(山岳) 「周辺の環境条件を配慮し，新技術を駆使したトンネル工事」	2008.10.23	200	東京都(下記参照)
第63回(都市) 「都市部の特殊条件下でのトンネル工事」	2008.10.24	200	東京都(下記参照)
(講演，講習会)			
第10回トンネル技術ステップアップ研修会(シールド部門)	2008.11. 6～ 7	30	東京都
第11回トンネル技術ステップアップ研修会(山岳部門)	2008.11.20～21	30	福島県(予定)

第62回(山岳)，第63回(都市)施工体験発表会開催のご案内

恒例となりました施工体験発表会を下記により開催することといたしました．昨年から発表者の発表技術およびその意欲を高めるとともに，参加者の資質向上を図るために優秀発表者を表彰する制度を設けました．

トンネル工事関係者にとりましては，施工における各種の現場事例を通じて技術力向上のよい機会であると存じますので，多数ご参加下さいますようご案内申しあげます．

なお，本研修会は(社)土木学会のCPDプログラムに認定されているほか，土木学会トンネル工学委員会後援事業でもありますことを申し添えます．

―記―

開催場所：北の丸公園　科学技術館地下「サイエンスホール」(案内図参照)
千代田区北の丸公園 2-1　TEL：03-3212-8485
地下鉄東西線「竹橋」駅下車徒歩約７分

開催日：第62回(山岳)施工体験発表会　平成20年10月23日(木)
第63回(都市)施工体験発表会　平成20年10月24日(金)

定員：各200名

参加費：第62回，第63回それぞれ個人会員12,000円，団体会員15,000円，一般18,000円

申し込み方法：この案内文書添付の申し込み用紙に記載のうえ，郵送またはFAXをもってお申し込み下さい．電話での申し込みは受け付けませんので，ご了承願います．
〒104-0041　東京都中央区新富 2-14-7　新光第一ビル
社団法人日本トンネル技術協会　施工体験発表会係
TEL：03-3553-6174　　FAX：03-3553-6145

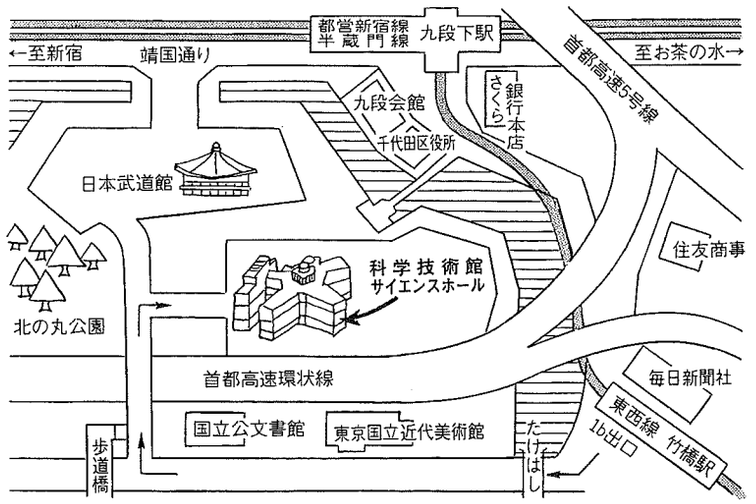
支払い方法：上記お申し込みののち，郵便振替用紙通信欄に行事名と参加者名記入のうえ，下記にお振込み願います．現金書留でも結構です．
郵便振替口座00160-7-196331　日本トンネル技術協会

そ　の　他：①参加費の払い戻しはいたしかねますが，代理出席は差し支えありません．
②テキストを事前に送付いたしますので，住所等は必ず記載して下さい．

下記申し込みにかかわる個人情報につきましては，他に利用するものではありません．

第62回，63回施工体験発表会参加申し込み書(参加する回を○で囲んで下さい)					
氏名(ふりがな)		年齢	才	TEL	－ －
会社名					
所属役職					
会社住所	〒　－				

〔案　内　図〕



第62回(山岳)施工体験発表会

開　催　日：平成20年10月23日(木)
プログラム：

09：55　開会挨拶　日本交通技術(株)代表取締役社長〈事業委員会委員長〉　桑原　彌介

司　会　(株)大林組生産技術本部トンネル技術部長〈事業委員会委員〉　三上　哲司

10：00　九州地方特殊土(灰土)地盤における小土被りトンネルの施工
鹿島・大日本土木・丸昭・橋口特定建設工事共同企業体工事課長　鹿狄　耕治

10：25　民家及び養殖を営む漁場に近接した場所でのトンネル施工
(株)奥村組東北支店新唐桑トンネル工事所現場所長　岩崎　光

10：50　地上構造物が存在する地すべり直下のトンネルの情報化施工
清水建設(株)名古屋支店土木技術部主任　平野　宏幸

11：15　民家に近接したトンネル坑口部の施工における環境対策と新技術の適用
(株)鴻池組大阪本店焼坂第2トンネル工事事務所所長　斎藤　泰信

11：40　膨張性地山区間のトンネル掘削に伴い発生した変状とその対策
大成建設(株)東北支店雪沢第二トンネル作業所工事課長　森島　伸吾

12：05　昼　食

司　会　清水建設(株)土木技術本部地下空間統括部部長〈事業委員会委員〉　千葉　隆

13：00　トンネル発破低周波音レベル80dB以下に挑戦
飛島建設(株)東日本土木支社大笹作業所工事課長　小川　勲

13：25　崩壊跡地の河川敷をトンネルで横断
前田・佐伯国総・小田急・丸運特定建設工事共同企業体工事主任　北岡　英基

13：50　周辺環境に配慮した低層住居専用地域でのトンネル施工
(株)熊谷組広島支店呉日新作業所担当課長　緑川　俊哉

14：15　地すべり地帯における小断面排水トンネルの施工
(株)鴻池組大阪本店土木部工事所長　三浦　邦武

14：40　休　憩

司　会　前田建設工業(株)土木本部土木部トンネルグループ長〈事業委員会委員〉　小松　敏彦

14：50　小土被りの住宅・市道直下でのトンネル掘削における沈下抑制対策
(株)間組九州支店新武岡トンネル作業所工務課長　多宝　徹

15：15　超膨張性地山および未固結砂礫断層帯の施工
(株)大林組土木本部生産技術本部トンネル技術部　橋爪　正博

15：40　民家に近接した山岳トンネルの施工
鉄建・オリエンタル白石特定建設工事共同企業体工事主任　高橋　幹夫

16：05　広域的地下水流動の保全を目的とした防水型トンネルの施工
大成建設(株)土木本部土木設計部トンネル地下設計室課長　瀧　治雄

16：30　閉　会

第63回(都市)施工体験発表会

開　催　日：平成20年10月24日(金)
プログラム：

09：55　開会挨拶　日本交通技術(株)代表取締役社長〈事業委員会委員長〉　桑原　彌介

司　会　東亜建設工業(株)土木事業本部技術部長〈事業委員会委員〉　久多羅木吉治

10：00　中央線東中野駅付近桜川橋改築・首都高交差部建設工事
鉄建建設(株)東京鉄道支店土木部JV東中野作業所工事主任　磯部　浩史

10：30　東陽幹線その5工事に伴う支障物処理
東京都下水道局基幹施設再構築事務所設計課主事　北原　淳

11：00　大深度における地下河川トンネルの凍結工法による接合工事
佐藤工業(株)大阪支店寝屋川シールド作業所所長　高橋　秀夫

11：30　岩盤対応型泥水式シールド機による道路トンネルの建設
(株)大林組阪神高速伏見工事事務所所長　東出　明宏

12：00　昼　食

司　会　(株)熊谷組土木事業本部シールド技術部長〈事業委員会委員〉　金田　則夫

13：00　幹線国道直下における国内最長150mパイプルーフ工
国道9号線京都西鹿島・鴻池JV工事事務所工事主任　小河　亮介

13：30　幹線道路直下でのS字曲線と河川横断時の障害物撤去の施工
(株)奥村組関西支社機械部技術課主任　村中　浩昭

14：00　都市部に適応した上向きシールド工法と発進部セグメント
大成建設(株)名鉄岐阜駅土木作業所課長　原　信行

14：30　休　憩

司　会　鉄建建設(株)東京鉄道支店副支店長〈事業委員会委員〉　大和　修二

14：40　大深度，高水圧下での超長距離推進工の施工
清水建設(株)土木横浜支店土木部鶴見日清製粉地盤改良作業所工事主任　飯泉　勝

15：10　岩盤急曲線における泥土圧式シールド工の施工実績
戸田建設(株)九州支店土木工事部工事課工事主任　島津　智史

15：40　軟岩層における小口径・長距離シールドの施工
(株)間組関東土木支店土木部横水シールド作業所監理技術者　本山　康貴

16：10　閉　会

11月号予告[11月1日発売予定]

[東海北陸自動車道　飛騨トンネル開通記念特集]
- ●飛騨トンネルの開通までの歩み
- ●計画と地質調査
- ●避難坑の設計と施工
- ●本坑TBMの計画
- ●本坑の設計と施工
- ●高圧多量湧水への挑戦
- ●シングルシェルへの挑戦
- ●トンネルの設備
- ●飛騨トンネルの施工を終えて

【連載講座】
- ●山岳トンネル先進ボーリング入門(3)

＊内容等は変更になる場合がございます

編集後記

◆先日，新しくできた渋谷駅を見てきました．安藤忠雄氏設計の「地中船」が話題の駅です．「安忠」といえば「コンクリート打ちっぱなし」いうことで，イスラーのようなコンクリートシェルをイメージしてたのですが，名前の示すとおり「船」という感じのかっちりした構造物でした．

◆20年ほどまえ大阪の中之島公会堂の改修コンペが行われてたころ，コンペに参加していた同氏が，公会堂のなかに卵形の構造物を埋め込んだデザインの断面図を片手に，「この卵が大阪の再生のシンボルになりますねん」みたいなことをテレビに向かって力説していた姿を思い出しました．その姿と案が強烈だったので，それ以来，個人的には「安忠＝卵の人」という印象があります．この案は結局落選しましたが，再生のシンボルである卵が大阪ではなく，東京で実現したことは，関西出身としてすこし残念です．ただ再生の必要があるのは一地方の大阪だけではなく日本全体であるといわれている昨今ですし，箱モノではなく圧倒的に多数が利用する駅施設で実現したことを考えても，これが望ましい結果だったんだ，と実物を見て納得しました．

◆同氏は現在施工中の東京スカイツリー(新東京タワー)の監修もしており，2年前にこのことが発表されて以来，同氏の卵がタワーの足もとに抱かれた(モスラの卵のような)かたちで実現することを秘かに期待していたのですが，こちらはやはりありえなかったようです．　(K.K.)

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

トンネルと地下

第39巻 第10号〔通巻458号〕
ISSN 0285-631X
Tonneru to chika
平成20年9月20日　印刷
平成20年10月1日　発行

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

本誌の購読について

■購読をご希望の方は，書店または土木工学社へ直接お申し込みください．

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

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

振替　00110-8-190072

本誌広告のお申し込み方法

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

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

