

個人	団体	推薦	特別	名誉	学生	賛助	合計
749名	199名	212名	11名	4名	6名	204名	1,385名

委員会の開催状況(4月1日～30日)

【総務委員会】

□広報小委員会

会誌WG(4/2)(オンライン併用)

木村宏主査ほか12名, 5月号の会報と3か月計画を検討

【事業委員会】

■委員会(4/4)(オンライン併用)

入江健二委員長ほか19名, 令和7年度催物開催計画を検討

【国際委員会】

□ITA小委員会

国際広報WG(4/9)(オンライン併用)

河田皓介主査ほか8名, WTC2025展示方法の検討と準備状況の確認

小委員会・技術統括WG合同会議(4/15)

(オンライン併用)

砂金伸治委員長ほか33名, ITA年次総会の議題, 作業分担ほかを確認

□海外情報小委員会

海外ニュースWG(4/18)(オンライン併用)

清水健志主査ほか8名, 海外文献の査読と抄訳の選定

【技術委員会】

□山岳工法小委員会

支保WG(4/17)(オンライン併用)

佐原圭主査ほか25名, 掘削・支保作業の生産性にかかわる問題点と課題を検討

□安全環境小委員会

肌落ち災害防止対策WG(4/21)

浅野健一郎主査ほか7名, 肌落ち災害アンケート結果の内容を検討

【盤ぶくれ対策特別委員会】

幹事会(4/3)(オンライン併用)

太田博之幹事長ほか29名, 実施計画内容の方針を検討

■委員会(4/23)(オンライン併用)

西村和夫委員長ほか43名, 実施計画内容の方針を検討

【相模鉄道本線トンネル施工検討特別委員会】

■委員会(4/16)

小西真治委員ほか25名, 施工計画内容と協議事項の審議

合計 10回 219名出席

令和7年度定時総会、設立50周年記念特別講演会の開催お知らせ

令和7年度定時総会を下記のとおり開催しますので、お知らせします。詳しい情報は、JTAウェブサイトをご覧ください。

■日時：令和7年6月9日(月) 16時15分開会

■場所：都市センターホテル3階 コスモスホール(東京都千代田区平河町2-4-1)

■議題：第1号議案(報告事項)令和6年度事業報告

第2号議案(審議事項)令和6年度事業収支決算

第3号議案(報告事項)令和7年度事業計画

第4号議案(報告事項)令和7年度事業収支予算

第5号議案(審議事項)理事および監事の選任

■その他：総会終了後、令和7年度功績賞などの表彰式を行います。また、17時30分から懇親会の開催を予定しています。

※設立50周年記念特別講演会を、令和7年度定時総会に合わせて開催します(定時総会出席者限定)。

■日時：令和7年6月9日(月) 15時～16時

■場所：都市センターホテル3階 コスモスホール

■講演：春山 純一氏(JAXA)「月の地下のトンネル」

国際会議の開催予定

第52回ITA総会およびコンGRES

Connecting Communities through Underground Infrastructure

開催日	2026年4月16～22日
場所	モントリオール(カナダ)
主催者等	Tunnelling Association of Canada／ITA(国際トンネル協会)

第53回ITA総会およびコンGRES

Underground Creativity to Meet Societal Needs

開催日	2027年5月23～29日
場所	アントワープ(ベルギー)
主催者等	The Belgian Tunnelling Association／ITA(国際トンネル協会)

問い合わせ先：関 E-mail：noriko.seki@japan-tunnel.org TEL：03-3524-1755

催物開催状況・予定

網掛け部は実施済(2025年開催分)

	催物名	開催日	人数	場所	CPD
現場研修会	みなとみらい21線車両留置場建設工事	2025. 1.22	20	神奈川	2.0
	一級河川寝屋川加納元町調節池築造工事(R4 本體工)	2025. 5.29	20	大阪	申請中
	霞ヶ浦導水石岡トンネル(第5工区)工事	2025. 6.20	20	茨城	申請中
施工体験発表会	第96回(山岳)「様々な課題にチャレンジした山岳トンネルの建設およびトンネルリニューアル工事」ー創意工夫, 生産性・安全性向上, 働き方改革ー(オンライン併用)	2025.10. 7	150	東京	申請予定
	第97回(都市)「輻輳した市街地でのトンネル・地下構造物の新設・改造」ーデジタル技術の活用, 環境配慮, 支障物処理ー(オンライン併用)	2025.10. 8	150	東京	申請予定
講習会	第9回山岳トンネル維持管理業務講習会(実践編)(オンライン併用)	2025. 1.31	22 (対面) 35 (オンライン)	東京	5.9
	第22回トンネル技術ステップアップ研修会(シールド部門)	2025. 1.16,17	33	東京	13.9
	第19回トンネル技術ステップアップ研修会(山岳部門)	2025. 2.12,13	35	東京	11.9
技術調査団	欧州3か国(オーストリア, スイス, フランス)現場技術調査	2025. 2.15～25	24	左記3か国	16.5

問い合わせ先 E-mail：event@japan-tunnel.org TEL：03-3524-1755

令和6年度施工体験発表会発表者審査結果およびベストオーディエンス賞結果報告

《発表者の審査結果報告》

第94回(山岳)ならびに第95回(都市)施工体験発表会にかかわる発表者の表彰について審査した結果を下記のとおりご報告いたします。両発表会の最優秀賞を受賞した論文は、後頁にご紹介いたします。なお、最優秀賞受賞者については、令和7年6月9日開催の定時総会終了後に表彰式を執り行います。

■第94回(山岳)施工体験発表会

テーマ：様々な課題にチャレンジした山岳トンネルの建設およびトンネルリニューアル工事
—創意工夫・生産性・安全性向上，働き方改革—

開催日：令和6年10月17日(木)

開催場所：機械振興会館 B2階ホール

最優秀賞 受賞者 藤原 浩一(鹿島建設(株))
発表論文 三車線断面トンネルにおける導坑先進工法の計画とその効果検証
—新名神高速道路 大津大石トンネル工事—

優秀賞 受賞者 岡崎 雄一((株)大林組)
発表論文 小断面NATMにおける熱水変質を受けた低強度地山と多量湧水への対策
—北海道縦貫自動車道 七飯町 大沼トンネル避難坑西大沼工区—

優秀賞 受賞者 前原 一稀(清水建設(株))
発表論文 国内最大のプレキャスト覆工の施工
—熊本57号 滝室坂トンネル西新設(二期)工事—

奨励賞 受賞者 蔭山 凌(大成建設(株))
発表論文 掘削断面積330m²の分岐大断面トンネルの計画と施工
—中央新幹線第一中京圏トンネル新設(西尾工区)—

■第95回(都市)施工体験発表会

テーマ：都市におけるトンネル・地下構造物の新設・改良工事
—環境配慮，施工改善，近接物対応事例—

開催日：令和6年10月18日(金)

開催場所：機械振興会館 B2階ホール

最優秀賞 受賞者 市丸 智大((株)大林組)
発表論文 地中構造物が残された埋立地盤における各種リスクを低減した確実なシールド掘進
—北港テクノポート線インフラ部整備工事—

優秀賞 受賞者 弘瀬 雄太(戸田建設(株))
発表論文 角形エレメント推進工法による鉄道駅非開削大断面トンネルの構築
—相鉄・東急直通線，綱島トンネル他工事—

優秀賞 受賞者 金子 周平((株)熊谷組)
発表論文 近接構造物に配慮したシールドトンネルおよび中間立坑工の構築
—北大阪急行線の延伸事業のうち土木工事—

《ベストオーディエンス結果報告》

聴講者を対象とした「ベストオーディエンス賞」に多数のご応募をいただきありがとうございます。この賞は、施工体験発表会における聴衆者を対象としたもので、熱心に発表を聞いた人やテキストをよく読んでいただいた方を賞するものです。応募者のうち全問正解者の中から抽選を行い、山岳・都市部門各3名ずつの計6名を受賞者とし、図書カードを贈呈しましたことを報告いたします(掲載順不同)。

受賞者 寺尾 陽明(東海旅客鉄道(株)) 木下 幸明(神戸市)
杉本 菜緒((株)大本組) 青木 浩之(ジェイアール東海コンサルタンツ(株))
久世 義直(大日コンサルタント(株)) 久保田幸恵((株)クボタ建設)

第94回(山岳)施工体験発表会最優秀賞

三車線断面トンネルにおける導坑先進工法の計画とその効果検証

—新名神高速道路 大津大石トンネル工事—

鹿島建設(株)土木設計本部地下空間設計部トンネルグループグループ長 藤 原 浩 一
鹿島建設(株)関西支店新名神大津大石工事事務所副所長 石 井 利 治
鹿島建設(株)関西支店新名神大津大石工事事務所所長 影 山 心
西日本高速道路(株)関西支社新名神大津事務所主任 藤 田 健 士

キーワード 導坑先進工法，頂設導坑，大断面トンネル，切抜け掘削，頁岩，いなし効果，切羽安定，補助工法

1 は じ め に

1-1 工事概要

新名神高速道路大津大石トンネル(上り線：695m下り線：917m)は、建設中の新名神高速道路大津JCT(仮称)～城陽JCT・IC間のほぼ中間に位置する三車線を有する扁平の大断面トンネルである(図-1)。

掘削断面積は、全線の約50%を占めるDⅢパターンで127.3m²(上半104.8m²，下半22.5m²，インバートを除く)であり、内空縦横比は第二東名・名神と同じ0.55である。掘削工法は、鏡面の安定



図-1 トンネル位置図

を第一に考え、上半先進ショートベンチカット工法が採用されており、工程促進の観点からドリルジャンボや吹付け機，タイヤショベルなどの掘削用機械はすべて2台体制として施工を行っている。本トンネルの断面形状図を図-2に示す。

1-2 地形・地質の概要

本地域の基盤は中生界ジュラ系に属する丹波帯であり、起点側(トンネル掘削終点側)には田上花崗岩体が貫入する。丹波帯はプレート運動により形成された付加体であり、主に頁岩を基質として、砂岩の岩塊を伴うメランジュが形成されている。このため、当該頁岩層は潜在的な亀裂が複数入っており、掘削により応力が解放されると、その亀裂が開口し、急激にゆるみが進展するという特徴

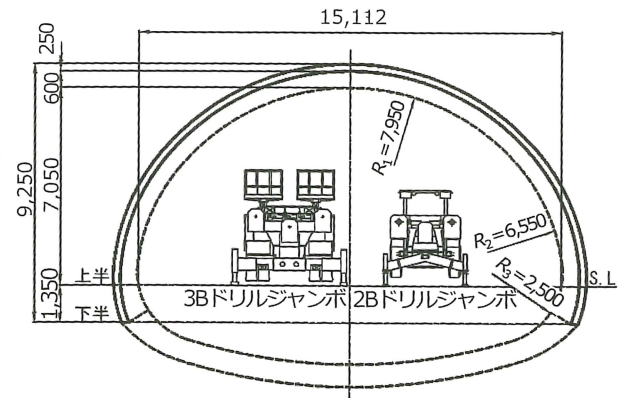


図-2 トンネル断面形状図

(GRPロックボルト)を採用した(図-7)。

また、事前調査(弾性波探査など)の結果から、起点側坑口付近などに複数の破碎帯の存在が想定されたため、切羽の安定対策として長尺鋼管フォアパイリングを準備することとした。その際、本坑切上げ掘削時の鋼管撤去により地山を乱すことを防ぐため、本坑掘削ラインより内空側に収まるように、鋼管の差し角を小さくすることができる拡幅型の工法を採用した(図-8)。

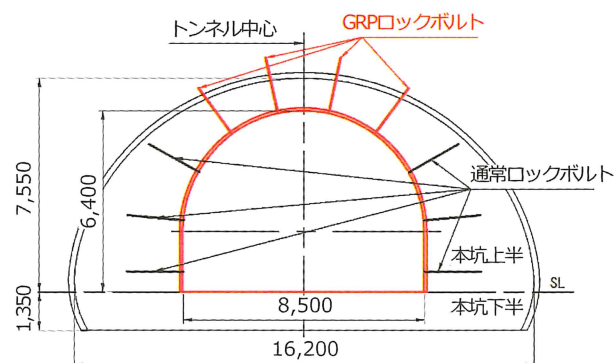


図-7 GRPロックボルトの配置計画図

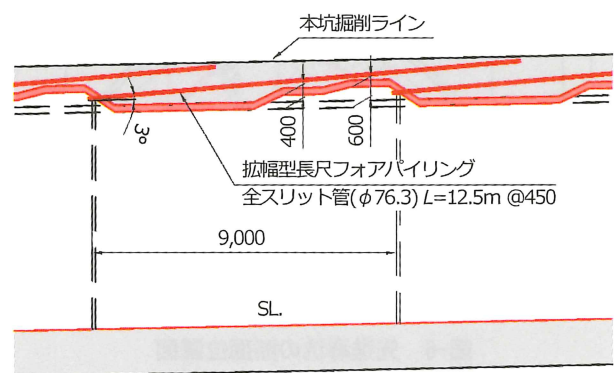


図-8 拡幅型長尺フォアパイリングの計画図

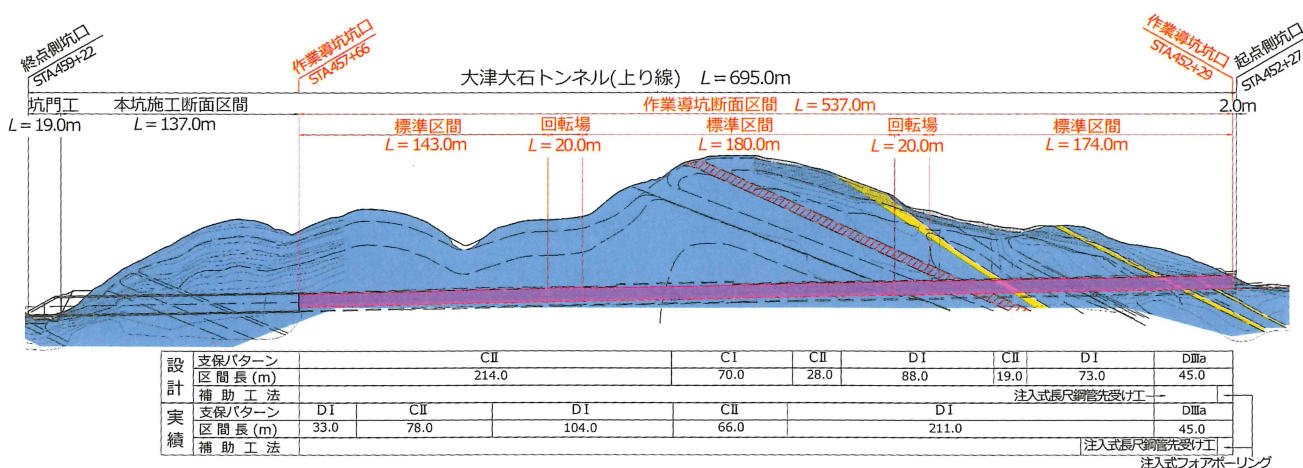


図-9 先進導坑の設計支保パターンと実績支保パターンの比較図

2-4 先進導坑の施工実績

先進導坑の支保パターンは、弾性波探査などの事前調査による設計では延長の61.6%を占めていたC I・C IIパターンが大幅に減少し、Dパターンが73.2%を占めることとなった(図-9)。これは、掘削対象の頁岩が非常に亀裂質で、掘削すると急激に亀裂が開き、崩れやすくなる地質であったことに起因する。しかし、前述の大型機械を使用可能な断面形状の選定や離合回転場の適正な配置、さらにはICTを活用した工程短縮への取り組みにより、計画工程よりも2.5か月(36%)短縮して導坑を貫通させることができ、結果として、三車線断面で掘削する当初計画に対し、約8か月前倒して工事用道路を完成させた。なお、ICTを活用した工程短縮策については別途報告を行っているため、詳細は参考文献¹⁾を参照されたい。

3 本坑切上げ掘削の計画

導坑先進工法は、地質確認や水抜き、発破工法の際の芯抜き効果や換気効果など、本坑切上げ掘削時にも得られるメリットが多い掘削工法²⁾である。その一方で、切上げ掘削時に切羽にて導坑鋼アーチ支保工やロックボルトなどの撤去作業が生じることや、それを分別して適切に処分する必要があることなど、通常のトンネル掘削作業に加えて配慮が必要な事項が多く存在する。そこで、ここでは、本坑切上げ掘削時におけるトンネル仮設備の計画について述べる。

3-1 導坑支保部材の処理計画

本坑切上げ掘削時には、掘削ずりと一緒に鋼材やガラス繊維(GRPボルト)、コンクリートガラなど、導坑掘削時の支保部材として使用していたものを分別処分する必要がある。しかし、その大部分は発破によって坑内で飛散した状態となることから、無支保の切羽でそれを分別することは安全上難しい。このため、以下の方法で分別を行うこととした。図-10にトンネル仮設備ヤード図を示す。

- ① 排水材などの導坑の空間保持に直接寄与しない部材は、あらかじめすべて撤去して処分する。
- ② 発破によって飛散しない鋼アーチ支保工は、切羽で分別し、専用のヤードへ運搬する。そこで、油圧圧砕機(写真-2)にて付着したコンクリート片を取り除き、3m程度に切りそろえて処分する。なお、切羽での支保工の撤去分別には約30分/サイクルを要した。
- ③ ロックボルトやGRPボルトなど発破によって飛散する部材は、ずり仮置き場にスクラップ、

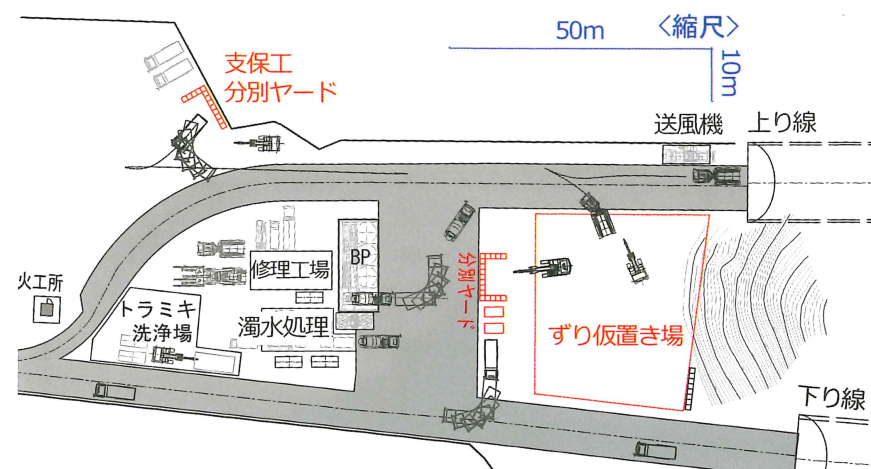


図-10 トンネル仮設備ヤード図(本坑切上げ掘削時)



写真-2 油圧圧砕機



写真-3 油圧フォーク



写真-4 導坑防音扉(風門)

コンクリートガラ、混合廃棄物のコンテナを用意しておき、掘削ずりとともにずり仮置き場まで運搬したのちに、油圧フォーク(写真-3)にて分別処理を行う。

3-2 坑内換気計画

本坑切上げ掘削時の換気は、先進導坑を使った坑道換気をもっとも効率的である。具体的には、到達側の導坑内に風門を設置し、そこに送風機を接続して、先進導坑を風管代わりに使用して切上げ切羽に送風する方法である。これにより、漏気を抑制して送風機の能力を最大限に発揮することができるとともに、掘削の進捗に合わせて風管を延伸するコストを省略できる。しかし、本坑切上げ掘削の延長は537mと短く、到達側に送風機を稼働させる高圧電源を新たに設置する追加コストや終点側の民家に対する送風機の夜間騒音を考慮し、風管を用いた通常の送排気方式を採用した。なお、発破騒音が到達側に抜ける影響を考慮し、導坑はグラスウール製の防音扉にて閉塞することとした(写真-4)。

3-3 導坑湧水の処理計画

本トンネルは到達側坑口に向かって約2%の上り勾配である。導坑掘削によって、地山の地下水位は本坑の上半盤(SL)付近まで低下した状態となっており、本坑切上げ掘削時に大規模な出水が発生するリスクは低下しているが、上り勾配であることから、導坑内の湧水が常に本坑切上げ掘削の切羽に流れ込むこととなる。このため、その湧水による上半脚部の地

山のゆるみや、路盤の泥濘化による安全性や作業性の低下が懸念された。そこで、隣接する下り線から上り線の導坑に向けて径76mmの鋼管を打設し、導坑内の湧水をその鋼管を通じて、下り線側に強制排水する計画とした(図-11)。

4 導坑先進工法の効果検証

導坑先進工法を採用したのは上り線の537mであり、隣接する下り線は通常の上半先進ベンチ

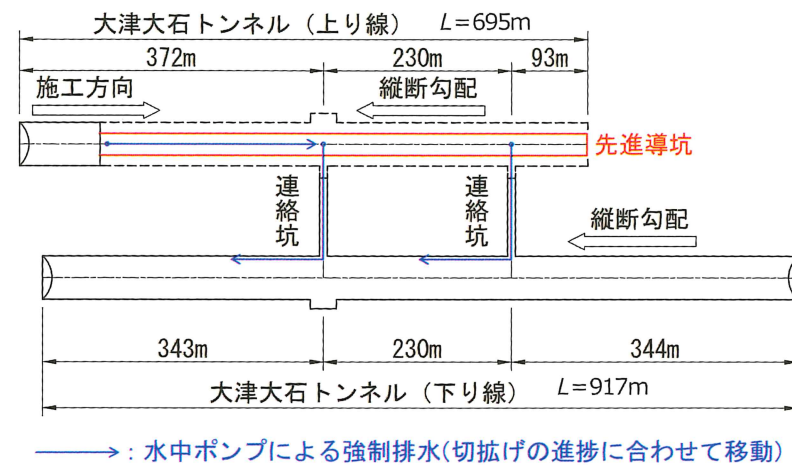


図-11 導坑湧水の排水計画図

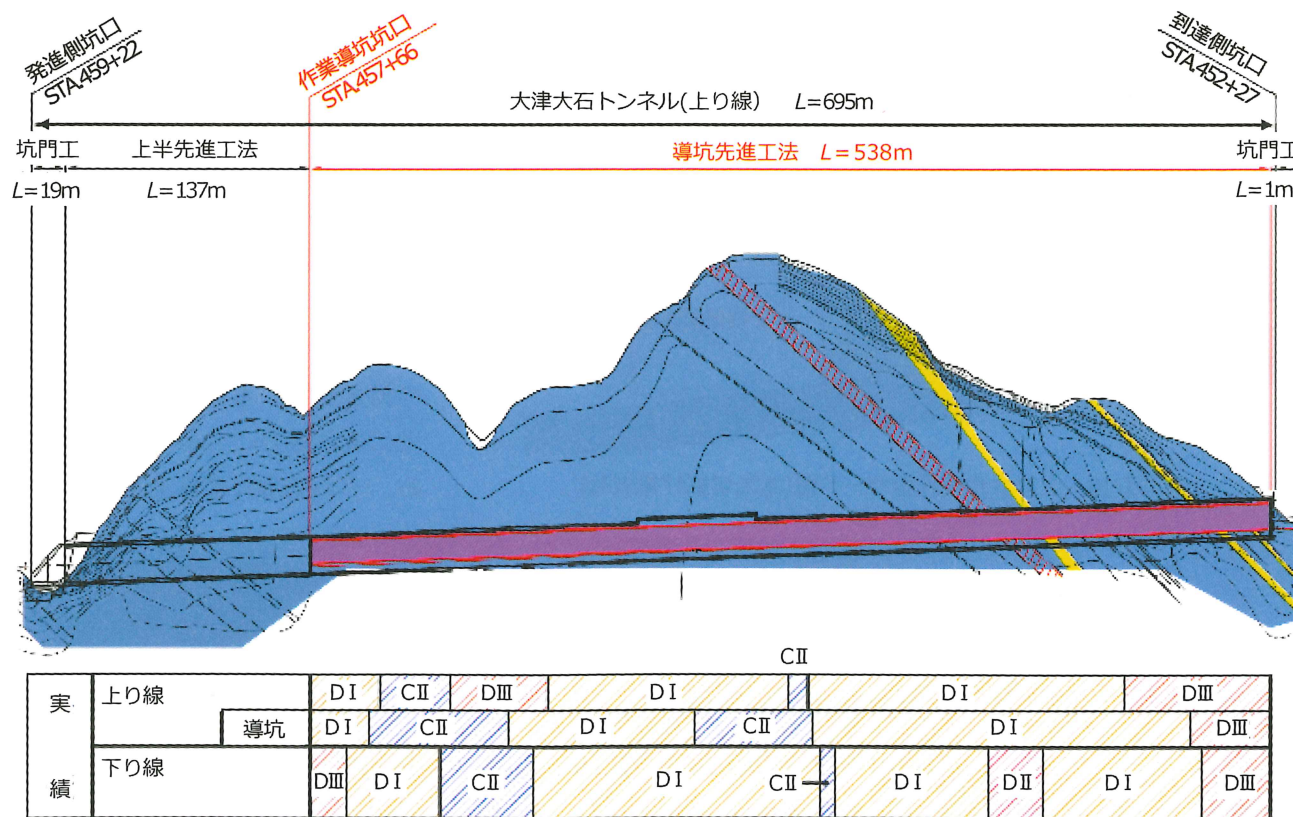


図-12 上下線における掘削実績図

カット工法で施工した。つまり、同様の地質を異なる掘削工法で施工した実績が得られたことになる。そこで、上下線の実績を比較することで導坑先進工法の効果を検証する。導坑先進工法で施工した区間の91%はDパターンであり、切羽を安定させるための補助工法を採用した区間も多い。このため、本稿では先進導坑がとくにトンネルの安定性に寄与する「切羽安定性の向上効果」および「いなし効果」について検証する。

4-1 本坑切抜け時の変位を低減するいなし効果

上下線の掘削実績を図-12に、坑内変位の比較を図-13に示す。本トンネルでは天端沈下が卓越する傾向にあったため、上下線の天端沈下量を比較すると、実績支保パターンはほぼ同じであるのに対し、導坑先進工法を採用した上り線の沈下量は、下り線よりも小さくなっていることがわかる。両グ

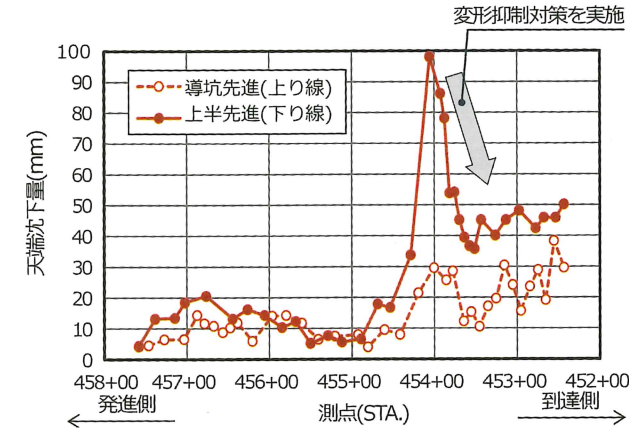


図-13 上下線における天端沈下量の比較図

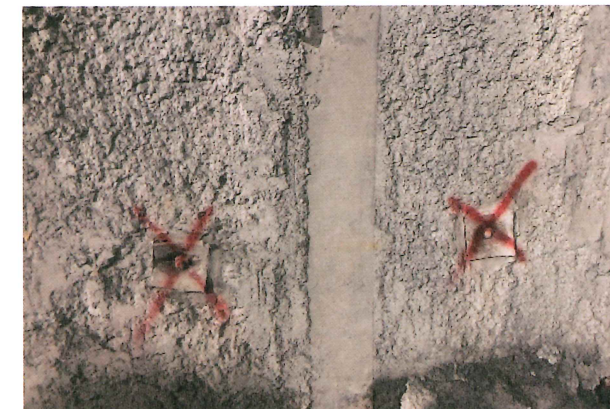


写真-5 支保部材の変状状況

ラフの面積から総変位量を算出すると、導坑先進は上半先進に対し、沈下量を約48%低減していることがわかる。とくにSTA.454付近では、下り線で大きな変位が発生し、吹付けのひび割れやロックボルトプレートの変形(写真-5)といった変状が観察されたが、導坑先進工法を採用したことで沈下量が約70%低減され、支保の変状を回避できた。これは、導坑先進工法のいなし効果(拡幅掘削時の変位や支保応力が低減される効果)が顕著に現れた結果である。なお、下り線の同区間では、トンネルの変形を抑えることを目的に上半仮インバート工や長尺鋼管先受け工を上半180°の範囲に打設するなどの補助工法を併用している。

4-2 拡幅時の切羽安定性を向上させる効果

(1) 補助工法の施工量

当該頁岩層は潜在的な亀裂が複数入っており、掘削により応力が解放されると、その亀裂が開口し、急激にゆるみが進展するという特徴を持つ。また、その亀裂はトンネルと直交するものが大部

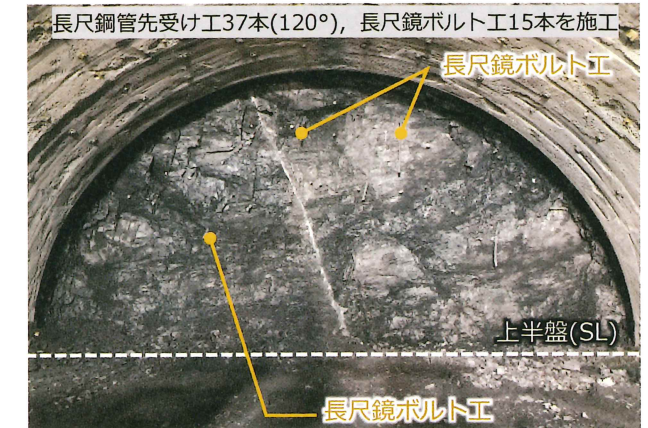


写真-6 上半掘削時の切羽写真



写真-7 本坑切抜け時の切羽写真

分であったため、上半先進工法で掘削した下り線では、とくに切羽の安定性に頭を悩まされた(写真-6)。このため、下り線掘削時に長尺の先受け工や鏡補強工などの切羽安定対策を実施した区間は全長の78%となり、打設本数は4,843本、総注入量は約430tに及んだ。一方、導坑先進工法を採用した上り線では、上半掘削断面積の約50%を先進導坑にて掘削したため、切抜け掘削時の切羽の安定性が大きく向上した。また、導坑掘削時に打設したロックボルトが切抜け断面の切羽に残っており、それも切羽の安定性に寄与したものと考えられる(写真-7)。その結果、切抜け掘削時に補助工法を必要とした区間は全長の16%となり、下り線と比較して大きく減少した。

(2) 導坑先進工法の効果に関する考察

図-14に本坑切抜け掘削時に長尺鋼管先受け工を施工した区間の地質縦断図を示す。また、先進導坑掘削時に実施した補助工法とボーリング結果を併記する。同区間の地質は補助工法を施工して

いない区間も含め、部分的に砂岩ブロックを含む様な頁岩層であり、土かぶりが減少するにつれて頁岩の亀裂間隔が徐々に狭くなり、天端からの小崩落が発生したことで、補助工法を採用したという経緯がある。ここで、切詰め掘削時に補助工法を必要とした区間は、先進導坑で補助工法を必要とした区間とおおむね一致していることがわかる。これは、三車線断面(上半掘削断面積が約100m²)を導坑先進工法で掘削する際の鏡面の安定性と導坑断面(掘削断面積が約50m²)を全断面工法で掘削する際の鏡面の安定性がほぼ同等であることを示している。つまり、先進導坑そのものが三車線断面に対しての鏡補強工として機能しており、その効果は掘削断面積を約半分に低減するほどのものであったと考える。なお、本工事では、本坑天端から約1m下げた位置に導坑天端を配置したが、この部分が不安定となり、小崩落が発生したことから切詰め掘削時における補助工法の採用を決めた。このため、本坑天端と導坑天端をできるだけ近づけた方が切詰め切羽の安定性は向上するが、導坑鋼アーチ支保工の撤去作業の効率性を考えるとその離隔は0.5～1m程度が必要であり、本工事の計画は妥当であったと考える。

(3) コスト・工程の比較

導坑先進工法と上半先進工法のトンネル掘削コスト・工程の比較表を表-1に示す。あくまで本トンネルにおける実績値であるが、コストはおおむね同等となり、工程は導坑先進工法の採用により14%短縮される結果となった。このため、非常に脆弱な地質の中で完成三車線の扁平大断面トンネルを掘削する本トンネルのような条件下であれば、導坑掘削にかかるコストや工程を考慮しても、導坑先進工法を採用するメリットは大きいと考える。また、定量的に評価することはできないが、安全性の向上も導坑先進工法によって得られる大きなメリットである。導坑があることで切羽作業の安心感は格段に向上したと考えており、肌落ち災害のリスク低減に大きく寄与している。

表-1 トンネル掘削コスト・工程の比較表

		上半先進工法(下り線)	導坑先進工法(上り線)
工程	本坑	15.2か月	8.9か月
	導坑	—	4.2か月
	計	15.2か月(1.00)	13.2か月(0.86)
コスト	本坑	1	0.82
	導坑	—	0.22
	計	1	1.04

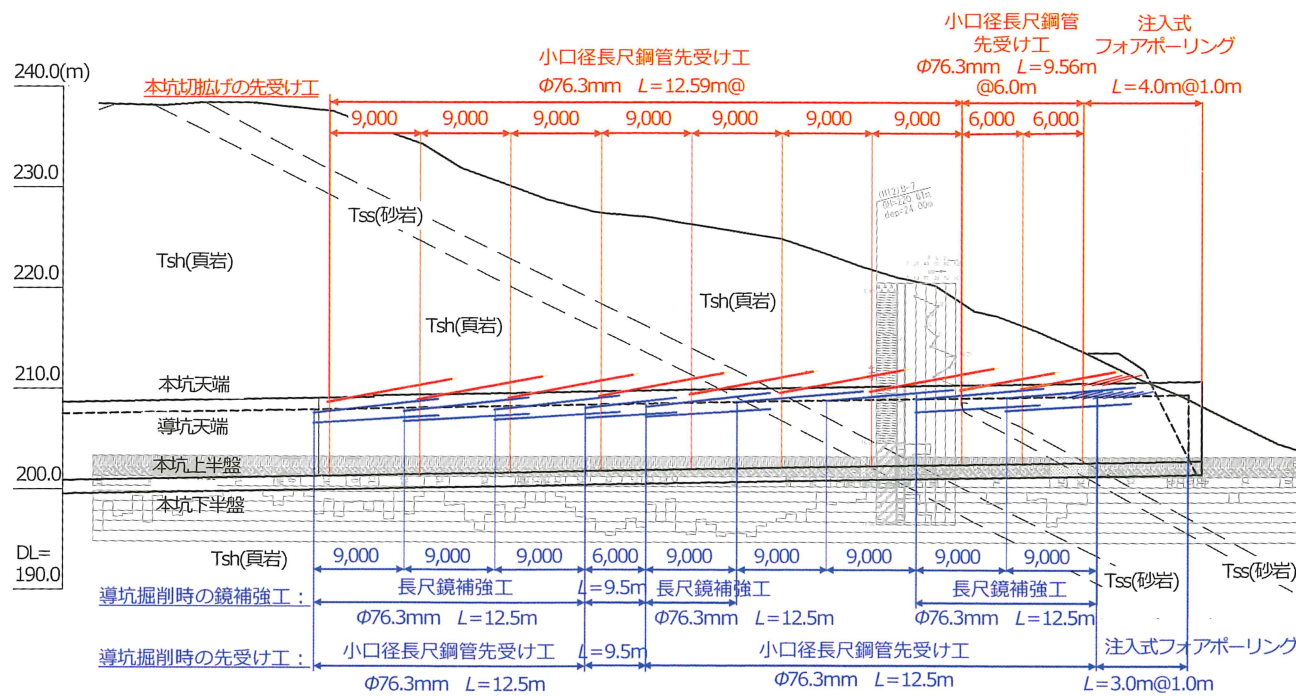


図-14 到達側坑口の補助工法実績図

5 おわりに

本稿では、同じ地質の中に異なる掘削工法で構築した上下線のトンネル掘削実績を比較することで、導坑先進工法の効果を検証した。その結果、導坑先進工法の「いなし効果」や「切羽安定性の向上効果」が十分に発揮されるとともに、切羽作業の安全性が大きく向上することを確認した。なお、導坑先進工法を採用するにあたっては、①本坑掘削に使用する機械で掘削可能な断面形状を設定することによる導坑掘削時の工程短縮や、②小断面トンネル特有の課題に対するICTを用いた導坑掘削時の安全対策、③導坑にGRPロックボルトや拡幅型長尺鋼管先受け工を用いることによる

拡幅掘削時の施工性確保など、計画段階から導坑掘削および切詰め掘削における課題を抽出し、各種リスクに対する対策を講じた結果が前述のコスト・工程の比較に表れたと考えている。本稿が導坑先進工法を計画するうえでの参考となれば幸いである。

参 考 文 献

- 1) 宮内智昭・藤田健士・影山心・藤原浩一：先進導坑とICTの活用により橋梁進入路を8か月前倒し貫通、新名神高速道路 大津大石トンネル、トンネルと地下、Vol.54, No.5, pp.7-15, 2023.5.
- 2) 土木学会：トンネル標準示方書〔山岳工法編〕・同解説、71p, 2016.8.

第95回(都市)施工体験発表会最優秀賞

地中構造物が残された埋立地盤における各種リスクを低減した確実なシールド掘進

—北港テクノポート線インフラ部整備工事—

(株)大林組大阪本店鶴見シールドJV工事事務所土木係 市 丸 智 大
 (株)大林組大阪本店枚岡河内シールドJV工事事務所所長 河 田 利 樹
 (株)大林組西日本ロボティクスセンター施工技術部担当部長 佐々木 雄 輝
 (株)大林組大阪本店夢洲延伸線JV工事事務所所長 石 原 昌 行

キーワード 泥土圧シールド, 地中構造物, 埋立地盤, 粘性土, ドレーン材, 鋼管矢板, 直接切削

1 はじめに

本工事は、北港テクノポート線のコスモスクエア駅～夢洲駅間のうち、夢咲トンネルの夢洲側アプローチ部終端から夢洲駅終端までの、シールドトンネル区間と開削トンネル区間の土木構造物を築造する工事である。シールドトンネル区間には、地中構造物が残置されていたが、路線直上には供用中の一般道路が存在し、地上からの対処が困難であったため、地中構造物をシールドで直接切削することとした。本稿では、シールドによる地中構造物の直接切削とその排土方法について報告する。

2 工事概要

シールド工事概要を表-1、シールド平面図を図-1、シールド縦断面図を図-2に示す。本工事は上下線共に発進側から400m地点以降は、一般道直下を掘進する線形である。

3 本工事の特徴と技術的課題

本工事の施工場所は埋立地盤であり、シールド掘削に支障となる地中構造物が残置されていた。シールド路線は非常に交通量の多い一般道の直下

表-1 シールド工事概要

項目	内容
工事名称	北港テクノポート線インフラ部整備工事
発注者	大阪市高速電気軌道(株)
施工場所	大阪市此花区夢洲中1丁目地先
工事期間(掘進)	2022年7月～2023年5月
工事内容	トンネル掘削
主要工種	泥土圧シールド工法(土砂圧送方式)
数量	掘削外径: 6.9m セグメント内径: 6.2m セグメント外径: 6.8m 延長: 1,503.4m(上り線760.9m, 下り線742.5m)
その他	対象土質: 埋立粘性土層, 下敷砂層, 沖積粘性土層 最小曲率半径: 161m 縦断勾配: -2～-19‰ 土かぶり: 9.97～16.39m

に位置するため、道路占用を伴う地上からの支障物撤去作業は困難であった。そのため支障物の撤去は、シールドにより直接切削して排除する必要がある。また、事前調査で掘削対象地盤にメタンガスが存在することが確認されたため、防爆対策として土砂圧送方式による排土方法を採用した。さらに2025年に予定されている大阪・関西万博開催までに開業が必要な鉄道工事であり、工期が

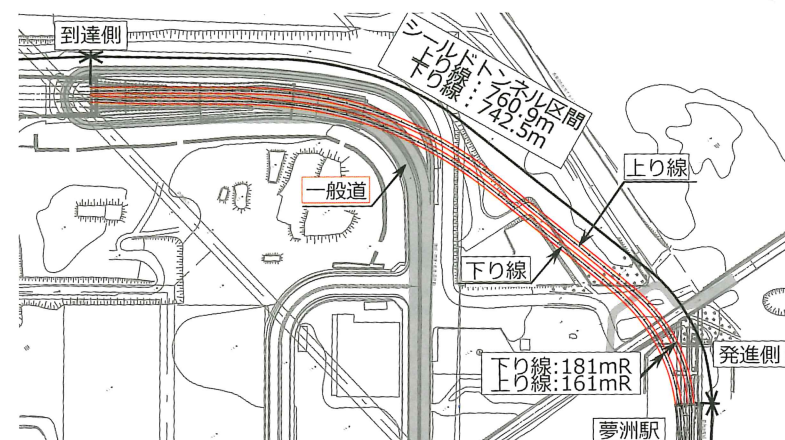


図-1 シールド平面図

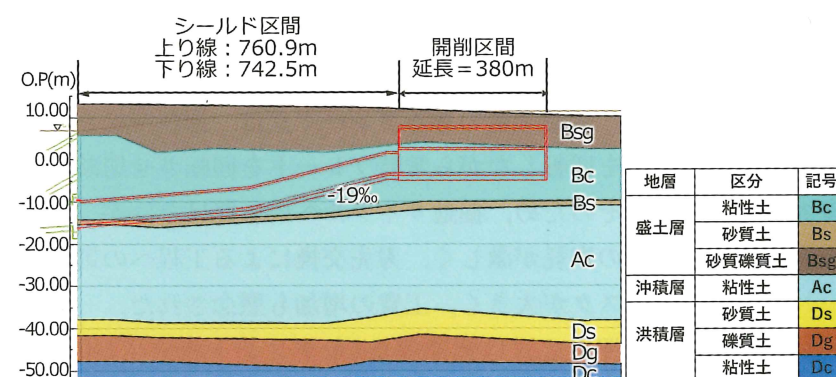


図-2 シールド縦断面図



写真-1 PBD埋設状況



写真-2 ブレード式カッタ

短く、遅延ができないという状況下でのシールド掘進となったため、進捗に影響の少ない施工方法の選定や、トラブルによる掘進遅延への対策が課題となった。

3-1 PBD(プラスチックボードドレーン)の存在

シールド路線全線にわたり、地盤圧密促進用のプラスチックボードドレーン(以下、「PBD」)が埋設されていた(写真-1)。設置間隔は1.3～1.8mである。当初は、実績があるブレード式カッタ(写真-2)によるPBDの切断を計画していた。しかし、ブレード式は泥水式で掘削距離が短い実績しかなく、今回のように泥土圧で、全線でPBDが出現する条件では、刃先の摩耗も激しく複数回の交換が必要であり、刃先の交換に時間を要することが想定された(1回あたり6方・3日程度のロス)。また、PBD切断時にPBDを引き込んだ場合には、周辺地盤への影響やスクリーコンベヤの閉塞が懸念されたため、PBDの切断方法も課題となった。

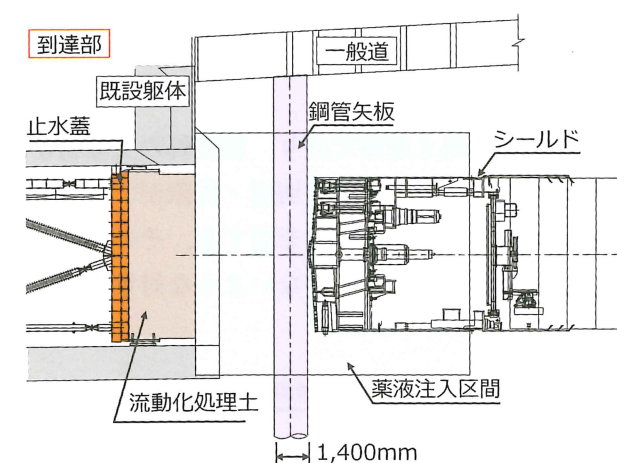


図-3 鋼管矢板切削縦断面図

3-2 鋼管矢板の全断面切削

本工事の路線では、上下線共にシールド到達直前には鋼管矢板(φ1,400mm, t=16mm)が残置されていた(図-3)。鋼管矢板は掘進方向を横断するかたちで残置されているため、シールドで切削する際、掘削全断面に鋼管矢板が出現することになる。全断面の鋼材切削は実績が少なく、切削の際、

カッタフェイスが鋼管矢板に噛み込めば、カッタの回転不能による掘進停止の可能性がある。また、鋼管矢板が大割れした場合には、チャンバ内や圧送配管内での閉塞の可能性がある。そのため、全断面に現れる鋼管矢板の確実な切削が課題となった。

3-3 埋立地盤に存在する構造物と巨礫の排土方法

切断したPBDや切削した鋼管矢板は、土砂とともに排出する必要があった。また、埋立当時の土砂の受け入れ基準は礫径 $\phi 300\text{mm}$ 以下であったが、それ以上の大きさの巨礫が存在することも予想されたため、それらをチャンバ内に取り込んだのち、円滑に排土できるシステムが必要であった。さらに、防爆対策として採用した土砂圧送方式では、配管が閉塞した場合、解除に多大な時間を要するため、より確実に排土ができる方法の検討が必要であった。

3-4 鉄道の開業時期が決まっていることによる工期の制限

本工事は、2025年に開催予定である大阪・関西万博までに開業の鉄道工事であり、工期が短く、遅延ができないという状況下でのシールド掘進となった。

掘削対象は埋立地盤であり、想定外の支障物が出現し、シールドでの直接切削・排除ができない場合、対応には膨大な時間を要する。そのため、トラブルによる掘進停止がないような対策が課題となった。

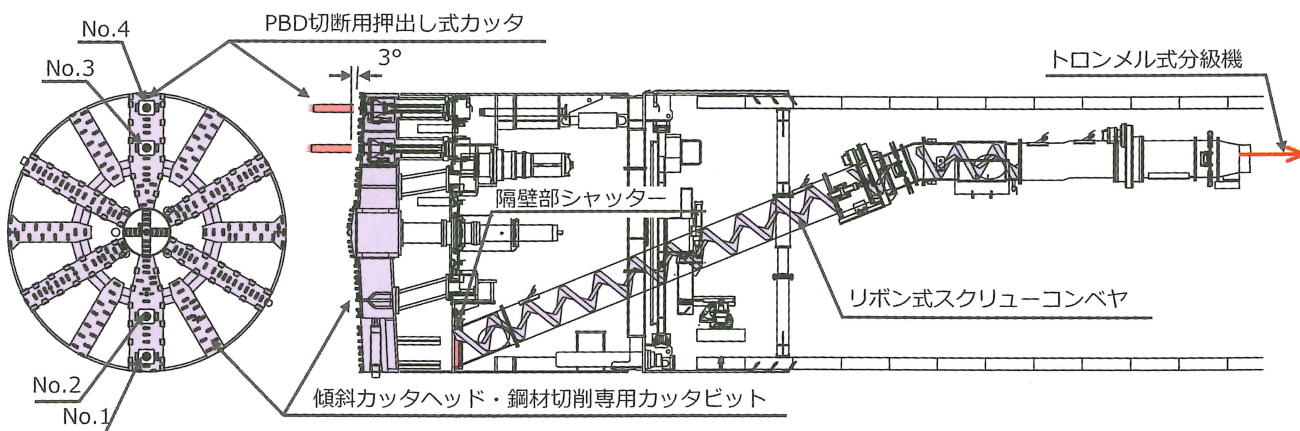


図-4 シールドにおける対策

4 課題における解決策

支障物を排土可能な大きさに切削・切断し、掘削土砂とともに排出できるように図-4に示す対策を行った。

4-1 PBD切断用押し出し式カッタの採用と事前切断試験の実施

(1) PBD押し出し式カッタの採用

PBD切断機構の刃先交換による時間ロスを回避するため、切断方法の再検討を行った。そこで、当社((株)大林組)と三菱重工メカトロシステム(株)(現在のJIMテクノロジー(株))で共同開発した押し出し式カッタの採用を検討した。

切断実績のあるブレード式は、掘削中にカッタを回転しながら常時ブレードを回転させ切断する。そのため、掘進サイクルへの影響はないが、刃先の摩耗が激しく、刃先交換による工程への影響リスクが大きく、工費の増加も懸念された。一方、押し出し式は掘進停止(セグメント組立て)中に、「カッタ回転・セグメント幅分の刃先押し出し」をくり返して切断する。そのため、掘進サイクルに影響する可能性はあるが、刃先の摩耗が少ないため、刃先交換による工程への影響リスクが小さく、経済性でも優位であった。しかし、押し出し式カッタによるPBD切断の前例がないため、押し出し式カッタの採用には、掘進サイクルへの影響回避と土中のPBDの確実な切断が課題となった。

掘進サイクルへの影響については、セグメント組立て中にPBDを切断できるように、切断パター

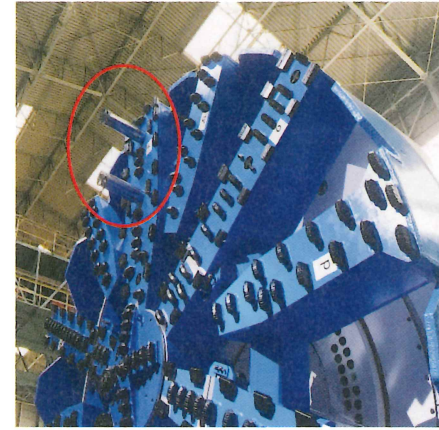


写真-3 PBD切断用押し出し式カッタ

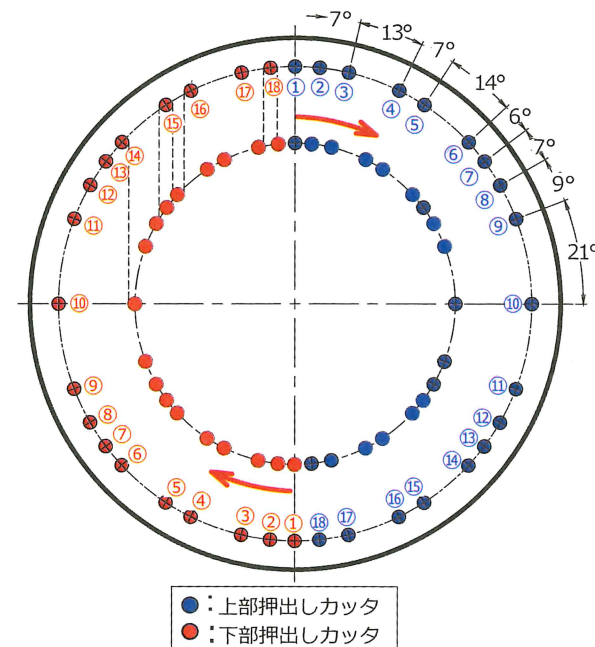


図-5 押し出し式カッタ押し出し位置

ンや切断のタイミングについて検討した。掘削断面内のPBDをもれなく切断するため、押し出し式カッタをスポークの上下2か所ずつ設置し(写真-3)、ストロークをセグメント幅と同じ1,200mmとした。また、2本のスポークに配置して、カッタヘッドを6~21°ずつ、180°回転させることで、押し出し式カッタを1リングあたり18回の作動で切断が完了できる押し出し位置とした(図-5)。さらに、PBD切断をセグメント組立て時間内(約30分)に完了させるため、18回の作動を約25分で完了できるように、カッタの押し出し速度(50mm/s)を設定した。これにより、掘進サイクルへの影響を回避できると考え、工程への影響リスクが小さく、経

表-2 PBD切断カッタ比較表

	ブレード式カッタ		押し出し式カッタ	
サイクルへの影響 (掘進しながら切断可能)	なし	○	なし (セグメント組立て中に切断可能)	○
刃先寿命 (摩耗)	短い	×	長い	○
刃先想定 交換回数	多(6方・3日/1回)	×	小(2方・1日/1回)	○
装備および 交換費用	2.0	×	1.0	○
施工実績	あり(泥水式シールド)	○	なし	△
総合評価	△		○	

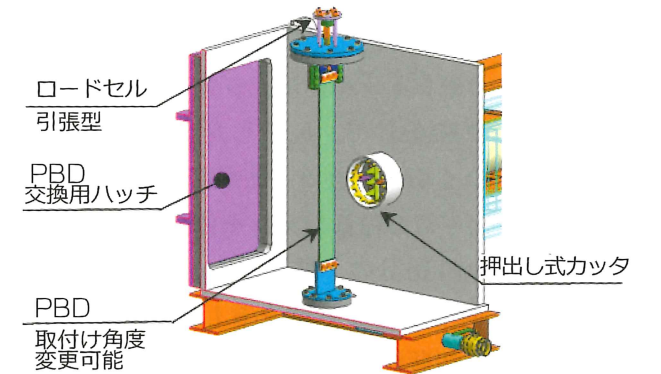


図-6 押し出し式カッタ実証試験

表-3 押し出し式カッタ実証試験結果

確認項目	結 果
PBD 切 断 状 況	良好(刃先部で完全に切断)
PBD切断時の引張力	3,135N
ジャッキ推力(圧力)	25.9kN (= 2 MPa < 21MPa「ジャッキ能力」)
ジャッキ速度	48mm/s (設定速度50mm/sの±5%以内)
ジャッキストローク	1,200mmまで確実に作動
ジャッキ押し出し状況	良好(円滑に作動)

済性で優位な押し出し式カッタを採用した。ブレード式カッタと押し出し式カッタの比較表を表-2に示す。

また、PBDの確実な切断については、事前に切断試験を行い、切断性能等を検証することとした。

(2) PBD事前切断試験の実施

軟弱粘性土(N 値5, 粘着力 $C=43.3\text{kN/m}^2$)の地盤条件でPBD切断に適した刃先の形状や、PBD背面地盤の反力に対するPBDの押し込みとそれによる地中への引き込み、円筒状の押し出し式カッ

タを地山に所定量貫入できるかなどの検証を目的とし、JIMテクノロジー(株)と共同で実証試験を行った(図-6)。この試験では、押し出し式カッタの刃先形状を複数検討したのち、埋立地盤を模擬した土砂充填下(設定土圧0.3MPa)でのPBD切断を行い、切断性能を満たしているかを確認した。試験結果から、ジャッキ推力は地盤への貫入抵抗のみであり、PBD切断時のジャッキ推力上昇は確認されなかった。そのため、設定した押し出し式カッタのジャッキ推力やジャッキ速度、ジャッキストロークの条件で、加圧した土砂充填下でPBDを問題なく切断できることが確認できた(表-3)。また、土中におけるジャッキ伸長時の推力も、能力(21MPa)の10分の1程度であったことから、PBD切断に対し十分な性能を有していることを確認できた。切断時にPBDに作用する引張力は3,135kNであり、シールド断面上に1m以上PBDの定着があれば、PBDを引き込むことなく押し出し式カッタで切断できると想定できたため、本工事の条件(上部に10~15m存在)では、PBDの引き込みによる周辺地盤への影響なく、確実に切断できると判断した。

4-2 鋼管矢板を切削可能なシールドの仕様

鋼管矢板切削時のカッタの噛み込みと鋼管矢板の大割れを防止するため、鋼管矢板を少しずつ、細かく切削する必要があった。そこで、シールド中心部から外周側へ徐々に切削できるよう、カッタヘッドを3°傾斜させた円錐状とし、カッタフェイス全面に、鋼材切削が可能なカッタビット(超合金)を切削断面が100%網羅できるよう軌跡をラップ(外周付近:ピッチ7.5~15mm)させて配置した(図-7)。

また、鋼管矢板切削時はシールドを微速モード(2.0mm/min)で掘進させ、カッタを高速回転(1.79rpm)させることで、地山掘削時に対し、切り込み量を1.12mm/r以下に低減できる仕様とした(表-4)。

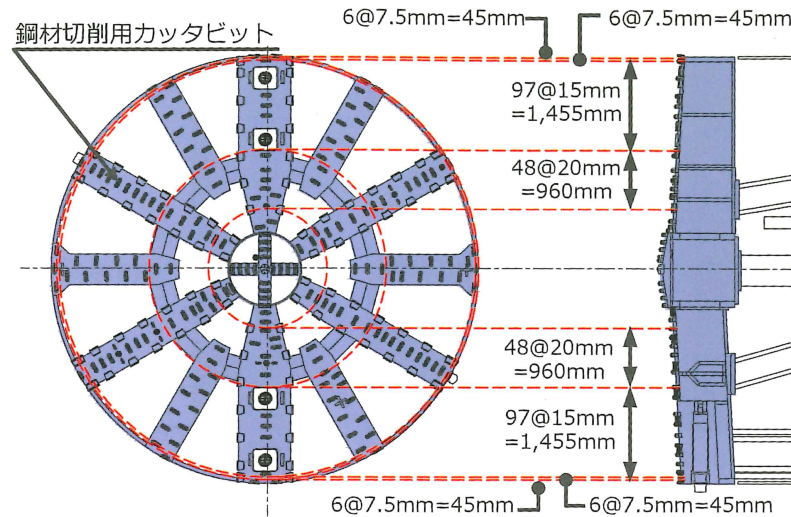


図-7 カッタヘッドとビット配置

表-4 鋼管切削時切込み量

項目	切削時	地山掘削時
掘進速度	2.0mm/min(微速モード)	30mm/min
カッタ回転数	1.79rpm(高速モード)	1.12rpm
切込み量	1.12mm/r	25.9mm/r

4-3 地中構造物を適切に取り込む排土設備

切断したPBD、切削した鋼管矢板、および想定されるφ600mm程度の巨礫(φ300mmに安全率を2倍考慮)を排出するため、シールドの土砂排出機構に内径φ900mmのリボン式スクリーコンベヤを採用した(図-8)。

これにより、φ600mm程度の巨礫や支障物をチャンパ内から排出することが可能になった。また、スクリーコンベヤ内で閉塞した場合に備えて、スクリーコンベヤ先端に隔壁部シャッターを装備し、切羽圧を保持しながら閉塞解除ができるようにした。さらに、2次スクリーコンベヤの直後にトロンメル式分級機(図-9)を設け、スクリーコンベヤを通過した支障物を回収できる仕組みを採用した。トロンメル式分級機内には幅100mmのスリットが設けられているため、大きさが100mm以上の礫などはスリットに引っかかり、それらを回収することができる。採用した圧送ポンプ(吐出部内径φ200mm)で排出できる土砂の粒径は圧送抵抗計算よりφ40~50mm程度であったが、スリット幅をそこまで狭めると、土砂自体が引っかかり、閉塞が多く発生すると想定さ

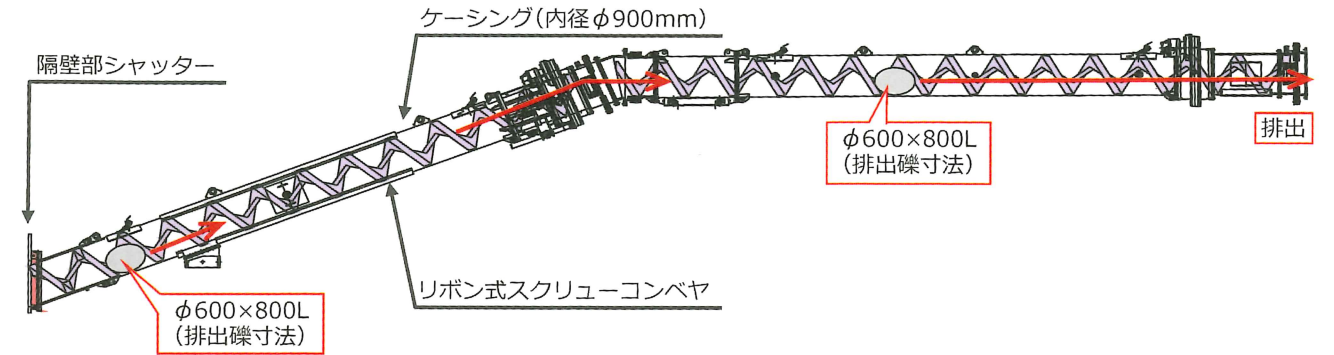


図-8 リボン式スクリーコンベヤ

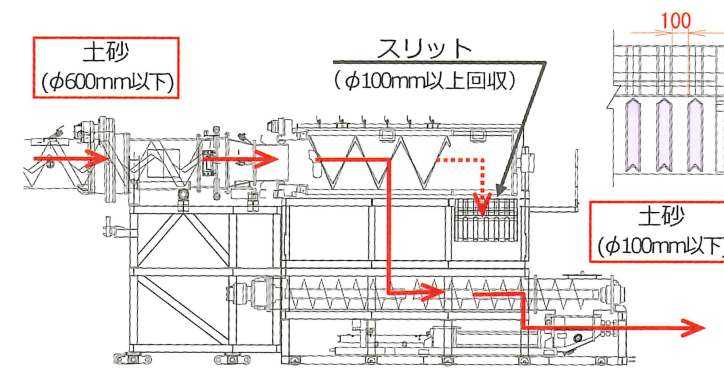


図-9 トロンメル式分級機

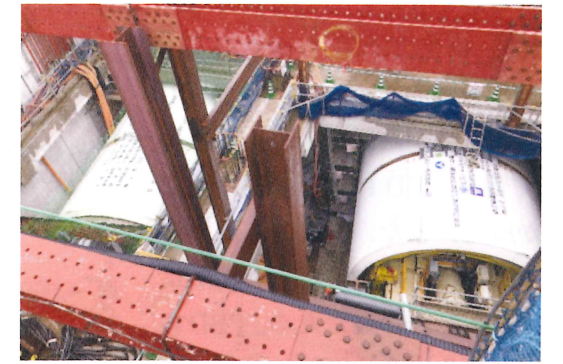


写真-4 シールド2台での施工状況

れたため、スリット幅を100mmで設定し、それ以上の大きさの支障物や礫を事前に取り除くことで、閉塞リスクの低減を図った。

4-4 シールド2台による施工

想定外の支障物が出現し、シールドでの直接切削・排除ができない場合、全旋回工法による地上からの撤去や、一般道直下では圧気工法による撤去を行う必要があり、これらの対応には膨大な時間を要する。

そこで本工事では、シールドを2台使用しての上下線交互施工とした。交互掘削を行うことで、トラブルにより一方が掘進停止となっても、もう一方で掘進を続けて工程の遅延が発生しないようにした(写真-4)。

5 施工結果および評価

5-1 PBD切断について

上下線ともに、発進から到達までPBD切断によるトラブルはなく掘進ができ、カッタの交換も行わなかった。実証試験ではジャッキ圧力2MPaで貫入できたが、実際の施工ではジャッキ圧力が

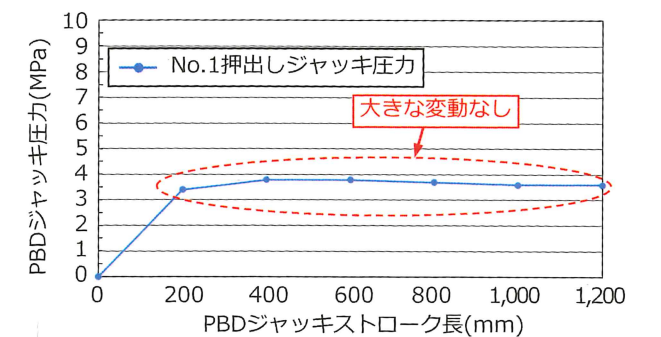


図-10 押し出し式カッタ貫入時のジャッキ圧力推移



写真-5 PBD切断片

4 MPa程度まで上昇した。これは、模擬地盤と現地盤の粘着力などの違いによるものと考えられ、貫入抵抗はジャッキの能力値以下であったため、問題なく押し出すことができた。さらに、実証試験と同様に、ほぼ一定の圧力で押し出し式カッタを貫入できたため、貫入抵抗のみでPBDを切断できたと考えられる(図-10)。排出された土砂からは1～4 m程度に切断されたPBD(写真-5)が確認でき、土砂圧送設備もPBDによる閉塞はなかった。また、シールド線形上の路面沈下測量で地盤の沈下は確認されなかったため、PBDの引き込みによる周辺地盤への影響はなかったと考えられる。切断時間については、セグメント組立て時に同時並行で切断を行うことができた。掘進の終盤ではセグメント組立て時間が短縮され、20分程度で組立てが完了していたものの、全体工程に影響する遅延はなく、効率的にPBDの切断ができた。

以上のことから、今回の条件では、押し出し式カッタはPBDの切断に有効であり、性能の選定も適切であったと考える。ただし、地盤条件が異なる場合には、今回の実績を踏まえ、押し出し式カッタの仕様(ジャッキ速度および推力など)の検討が必要である。

5-2 鋼管矢板の直接切削について

鋼管矢板切削に対応したカッタ形状・ビット配置や、微速モードでの掘進により、圧送配管などの閉塞はなくシールドで鋼管矢板を直接切削することができた。鋼管矢板接触直後はカッタトルクが約2,000kN・mで安定しながら切削できていたが、カッタヘッドが鋼管矢板に貫入するにつれてトルク値は上昇した(図-11)。カッタ全断面が鋼

管矢板に貫入する直前からは、カッタの噛み込みが数回発生し、シールドに推力をかけると、カッタトルクは高速回転時の上限値(5,618.6kN・m)付近まで上昇した。そのため、その都度カッタを空回しさせてトルクが低下するのを待ったのち、掘進を再開させ、これをくり返して鋼管矢板の切削を行った(図-12)。空回し後も、通常掘削時のトルク推移まで下がらないことから、トルクの上昇は、カッタフェイス側面と鋼管矢板の摩擦が影響していると考えられる。トルク上昇時の空回しによりスムーズに掘進を再開させることができ、当初の計画どおり上下線とも2昼夜で切削完了できたが、カッタ全断面が鋼管矢板に貫入した際の急激なトルク上昇に対する装備トルク選定については今後の課題である。また、鋼管矢板切削の前半

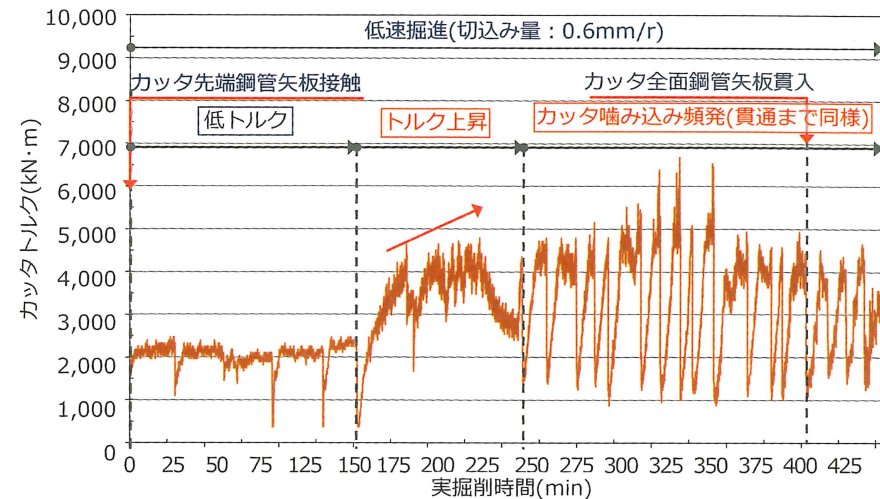


図-11 鋼管接触から全面貫入までのカッタトルク

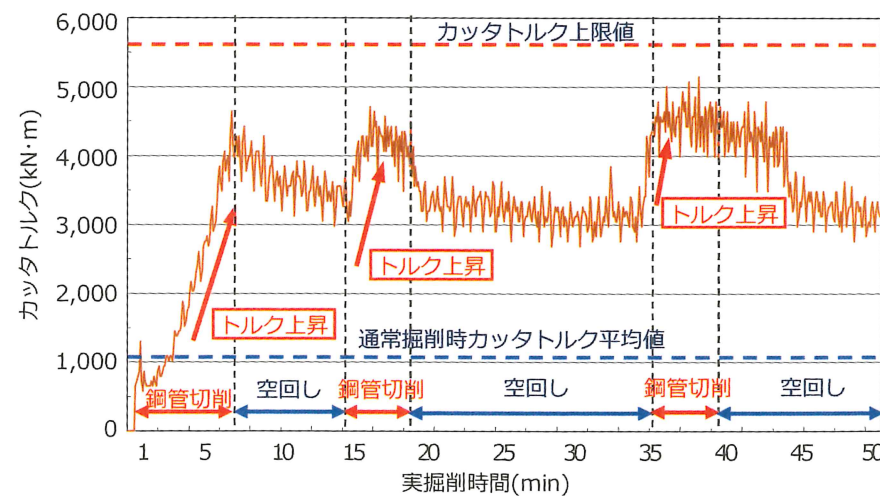


図-12 鋼管切削時カッタトルク



写真-6 鋼管矢板切削片



写真-7 鋼管矢板大割れ切削片

は切り込み量の少ないうろこ状の切削片(写真-6)が排土とともに確認されたが、到達後にチャンバ内土砂を撤去した際、大割れした鋼管矢板がチャンバ内やスポークの間などに残っていることが確認された(写真-7)。これは、鋼管矢板貫通直前、鋼管矢板自身の切削横断方向の反力が足りず、ねじれて大割れし、チャンバ内に滞留したものと考えられる。今回は、大割れした鋼材が掘進に影響を及ぼす前に到達することができたが、鋼材切削から到達までの距離が長い場合、チャンバ内閉塞などを引き起こすことが懸念される。そのような条件では、大割れしてチャンバ内に取り込んだ鋼材を除去できる方法などについても検討しておく必要がある。

5-3 排土設備について

上下線ともに、φ200～300mm程度の巨礫はトロネル式分級機で回収でき(写真-8)、切断した



写真-8 回収した礫

PBDや切削した鋼管矢板は排土とともに排出することができた。また、工程に影響を及ぼすスクリーコンベヤと圧送配管の閉塞はなく掘進を完了することができた。掘削により取り込んだ粘性土の塊がスリットに引っかかる事象が発生したが、トロネル式分級機内にあらかじめ装備していた高圧洗浄機により対応し、遅延なく排土することができた。今回の掘進においては圧送配管の閉塞なく、工程の遅延もなかったことから、選定した排土設備は有効であったと考えられる。

5-4 シールド2台による施工について

今回想定していた以外の地中構造物による掘進停止は発生しなかったものの、シールド設備のメンテナンスなどで、片方のシールド掘進を停止させる場面が何度か発生した。本工事はシールド2台による上下線交互施工であったため、片方の掘進を停止させた際、もう一方の掘進を進めたことで全体工程の遅延なく掘進することができた。

6 おわりに

本工事では、埋立地盤に残された地中構造物をシールド直接切削により撤去し、工程の遅延なくシールド掘削を完了させることができた。押し出し式カッタによるPBD切断や、シールド全断面の鋼材切削は前例が少ない施工事例であり、本稿が、今後の施工技術向上の一助となれば幸いである。