

# 長距離推進をシールド坑内から発進

## The Long-Distance Jacking Method Started from Shield Tunnel

島橋 寛\*1      弦本 優司\*1      中川 直彦\*1  
 Yutaka Shimahashi    Yuji Tsurumoto    Naohiko Nakagawa  
 中川 一至\*1      白井 信浩\*1      樋口 昌典\*2  
 Kazushi Nakagawa    Nobuhiro Shirai    Msanori Higuchi

### 要旨

近年、都市部での埋設管工事においては、高度利用された地上部や埋設されたライフラインによって、工事用地の確保および開削工事がますます困難となってきた。本線シールドに合流する流入管路は、狭隘な道路直下に計画されており、合流地点は地下埋設管が輻輳する交差点内で地上作業ヤードを確保できなかった。そのため、発進立坑を設けず、一次覆工が完了したシールドトンネル内からの分岐発進する推進工事が計画された。

セグメント内径φ4450mmのシールド坑内から推進工事（内径φ1350mm、距離500m）を実施するため、セグメントの開口補強、推進機材配置の工夫や確実な長距離推進を行うための推力低減対策などの課題について取り組んだ内容について報告する。

キーワード：長距離推進 シールド坑内発進 推力低減対策 開口補強対策

## 1. はじめに

東大阪市では、近年局所的集中豪雨の発生頻度の増加により、既存の下水道管の雨水排水能力を超える雨水流入が頻繁に生じていることに加え、都市化の進展に伴う雨水流入量の増加によっても浸水被害の危険性が增大している。

そのため、時間雨量50mmを超える集中豪雨や台風通過に対し、災害の再発防止や甚大な被害の未然防止を図る観点から、東大阪市では西部排水区のうち平野処理区・大蓮分区の207.0haを対象に増補管を整備する浸水対策事業が進められている。

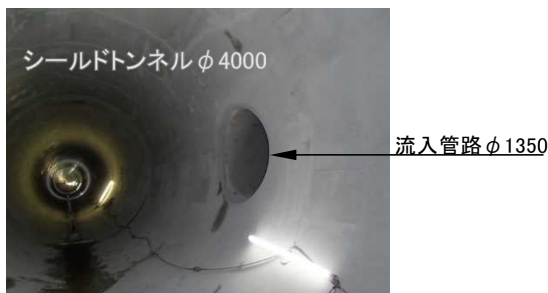


写真1 二次覆工が完了したシールド本線と流入管合流部（最終完成時）

## 2. 工事概要

本事業のうち、既に新岸田堂幹線につながる下流側増補幹線工事は完了しており、坑口部に鋼製止水壁を設置して大雨時には貯留施設として供用されている。

本工事は、泥土圧式シールド工法により上流側の増補幹

線と推進工法による流入管路を築造するもので、ここでは本線シールド内から発進した推進工事について説明する。

表1に工事概要を示す（図1、2）。

表1 工事概要

工 事 名	平成25年度公共下水道第1工区管きよ築造工事
発 注 者	東大阪市上下水道局
施 工 者	(株) 鴻池組
工 事 場 所	東大阪市渋川町4丁目～衣摺4丁目地内
工 期	平成25年7月25日～平成28年7月29日
工 事 内 容	<ul style="list-style-type: none"> <li>・泥土圧式シールド工事（仕上り内径φ4000mm） 掘削外径：φ4970mm、施工延長：1308.73m</li> <li>・泥濃式推進工事（HPφ1350mm、内圧管） 推進延長：492.54m（曲線半径200m：1箇所） 土被り：14.8～15.4m 土質：沖積砂礫層と沖積粘性土層の互層 管種：ガラス繊維鉄筋コンクリート管（2種）</li> <li>・分水立坑・管理用マンホール 5箇所</li> </ul>



図1 路線概要図

\*1 大阪本店 土木部      \*2 土木事業本部 技術部

### 3. 坑内推進スペースの確保

推進工事は、鋼製セグメント内径φ4443mmの一次覆工が完了した坑内（シールド発進基地から816mの地点）からシールドトンネル直角方向に発進する。

当初は、推進坑口前方に推進機の組立てや推進作業スペースを確保するため、ライナープレート覆工による推進用横坑を計画していたが、推進管搬入毎に元押しジャッキの移設・再設置作業が発生し、サイクルタイムの低下や長距離推進の線形精度の低下につながることに加え、推進用横坑築造時の地盤安定対策や推進反力によるセグメントへの影響低減が課題となった。

そのため、推進作業の効率化やセグメントへの影響低減を図るため、推進方向の背面側に「推進設備格納用横坑」を設けることとした（図3）。

#### 3.1 推進設備格納用横坑の設置

推進機の組立てスペースや推進管の投入作業スペースを確保するため、推進方向反対側のセグメント背面に推進設備格納用横坑（L=1.3m、鋼管内径φ2546mm）を設けた。この横坑に、元押しジャッキ（1500kN×4基）を格納することでシールド坑内に推進作業スペースを確保した。

横坑は、元押しジャッキを支保するとともに最大4187kNの推進力を背面地盤に伝達させる支圧壁の目的がある。しかし、横坑の背面地盤の受働土圧強度は3340kNのため、地盤反力が不足することから高压噴射攪拌工法による反力壁を事前に地上から造成した。

また、横坑は元押しジャッキの稼働状況に合わせ、前後に摺動することとなる。セグメントに推進反力が伝達しないように、セグメント開口にエントランスパッキンを配置し、横坑全体を摺動可能な構造とするとともに、背面からの土砂や地下水の流入を防止した。なお、横坑の構築は、鋼管刃口推進工で施工した（図4、写真2）。

#### 3.2 セグメントの補強対策

推進発進坑口の鋼製セグメントは、推進施工用の開口φ2177mmに加えて、背面側にも推進設備格納用のφ2968mmの開口を設けるため、開口比率はセグメント内径に対してそれぞれ49%と68%と大きく、そのためセグメントの開口切断前に、変形・応力増加に対応する鋼製の補強梁や欠損リングおよびリング補強部材をトンネル内部に設置する構造とした。なお、開口補強部材は、二次覆工厚221.5mmとコンクリートの充填性を考慮し、最大部材厚さまたは幅を150mm以内に加工した鋼材を使用した（写真3、図5）。

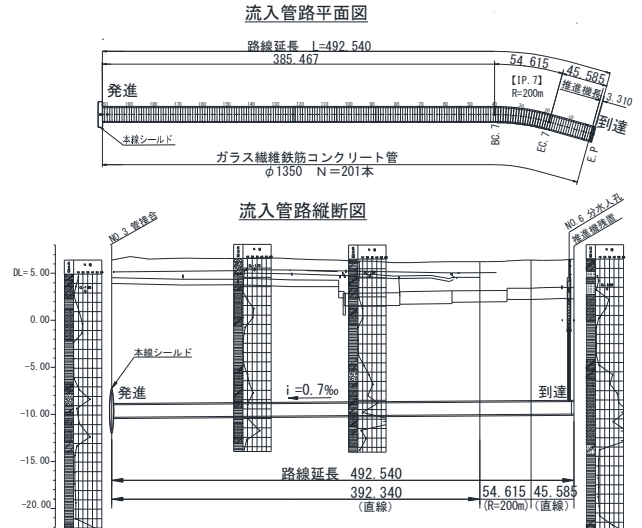


図2 流入管の路線一般図

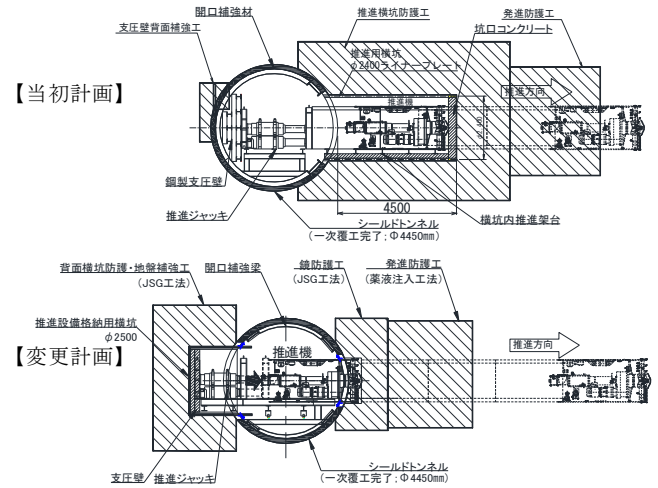


図3 掘進方法検討図

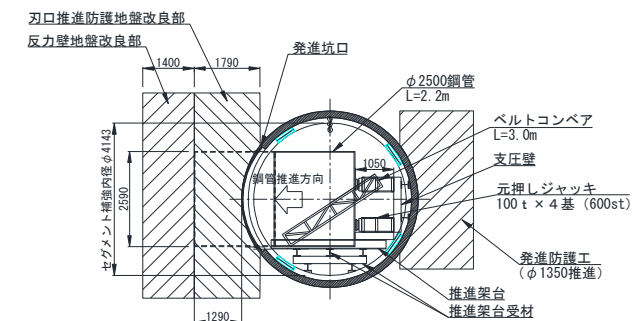


図4 鋼管刃口推進計画図



写真2 鋼管刃口推進状況(左)と推進ジャッキ格納状況



写真3 開口補強施工状況

### 3.3 車上プラント方式による高圧噴射攪拌工法

発進防護工および横坑防護工と反力壁の地盤改良は、昼間に交差点内を道路占用できないため、交通量の少ない夜間作業で実施した。また、プラント設備を常設するスペースも確保できないことから、必要な資機材をすべて車載させた車上プラント方式によるJSG工法(高圧噴射攪拌工法)を採用し、作業終了後は路面開放を行なった(図6)。

現地では、路面覆工による排泥ピットの設置ができないため、排泥タンクを造成直上の路面に据え付け、排泥タンクの上にJSG専用機(ボーリングマシン)を配置した。

削孔時や造成時に排出される排泥を直接タンク内に溢出させ、バキューム車により吸引処理した(写真4)。

## 4. シールド坑内設備の工夫

### 4.1 坑内推進設備の配置

泥濃式推進工事において、本来は地上に配置する機械設備のうち下記設備を坑内に配置し、送泥プラントと滑材注入設備は発進立坑基地に設置し、切羽までの最大1300mを圧送した。

- ・坑内揚重設備(推進機、推進管搬入用)
- ・排泥ユニット(掘削汚泥吸引用、換気設備併用)
- ・コンプレッサー(推進機ゲート操作用)
- ・油圧ユニット(元押しジャッキ用)
- ・ブロワ(推進坑内換気用)
- ・坑内キュービクル(推進電気供給用)

坑内搬送した推進機(75kN)や推進管(34.6kN/本)の揚重作業は、坑内に設けた門型揚重設備とターンテーブルの設置により行い、セグメントリングに直接吊り上げ荷重が作用しないように実施した(図7・8、写真5)。

### 4.2 排泥方法

泥濃式推進工法は、切羽に泥水を加圧充満させ、チャンパー内で切削土砂と混合攪拌して高濃度の泥水とし、これにより切羽の地下水圧や土圧に対抗させて切羽の安定を図

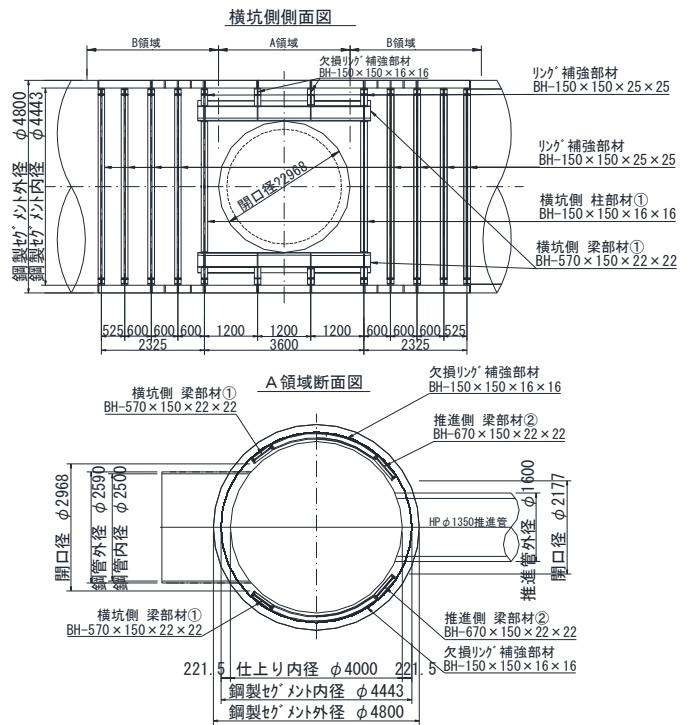


図5 セグメント開口補強図

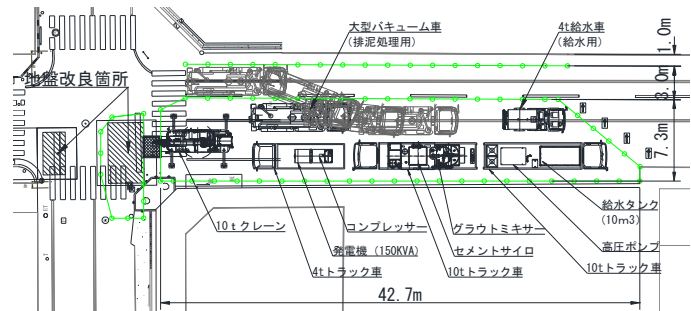


図6 道路使用形態



写真4 排泥タンク方式によるJSG施工状況



(推進管回転・揚重作業時) (推進管移動・セット時)  
写真5 坑内揚重作業状況



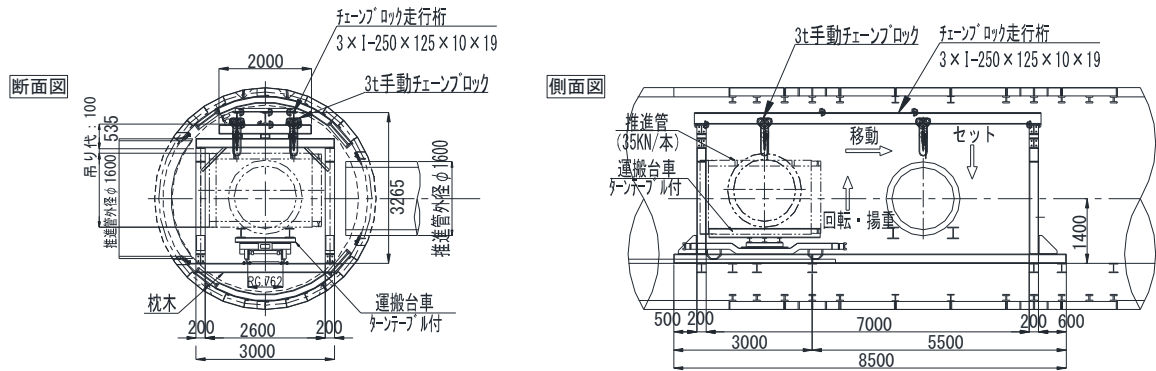


図7 坑内揚重設備

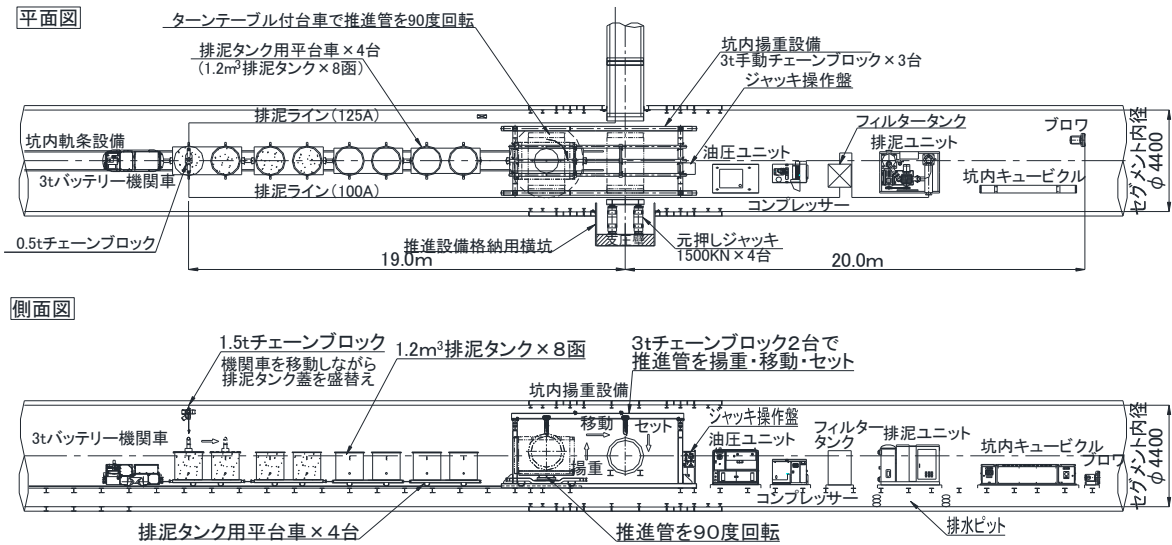


図8 坑内推進設備配置

りながら掘進する。掘削された土砂は、チャンパー内と坑内の圧力差を利用して推進機内の排泥バルブから排出させ、切羽部の貯泥槽で70mm以上の礫を除去した後、バキュームポンプにより推進坑口まで吸引排土する。

流入管路工事では、推進延長が約500mの長距離輸送となるため、排泥ユニット(75kw+55kw)をシールドトンネル内に設置し、推進管内には、2本の排泥管(φ125mm×2系統)を配置し推進坑口まで連続排泥を行った(写真6)。

さらに、推進坑口まで吸引排土された泥土は、シールドトンネル内に配置した排泥タンク(1.2m³×8基)に積み替え、坑内推進作業箇所から発進立坑までの800m区間は坑内軌条を利用して搬送した。排泥タンクごとに体積検収を行い、排土量管理を実施した(写真7)。



写真6 坑内排泥管



写真7 坑内排泥タンク

## 5. 推進機の組立てと掘進時の緊急時対策

### 5.1 推進機の組立ての工夫

機長3580mmの泥濃式推進機を坑内に搬入するため、前胴(2436mm)と後胴(1263mm)の2分割搬入としても、後胴組立て時の作業空間が不足した。そのため、推進機の前胴を坑内架台に搬入した後、鏡切り工・発進坑口工を行い、人力にて地山掘削を行い、前胴部のカッターヘッドを地山に450mm貫入し、鋼殻を前進させた(写真8)。

発進直後から切羽には155kN/m²の地下水圧が作用する。推進作業では、推進管1本毎の掘進完了時にジャッキを引



写真8 坑内掘進機組立状況

き寄せて次の推進管を挿入するが、推進管には 327kN の切羽圧力が作用するため、推進管の周面摩擦抵抗力が少ない推進初期の段階では、推進管が後退する恐れがあった。そのため、推進管の後退防止対策として、上下分割式で推進管を挟み込み、切羽圧力を推進架台に支保させる「管後退防止装置」を設けた（写真 9、図 9）。



管後退防止装置  
(推進管を上下で挟み込み、推進架台に支持させる。)

写真 9 管後退防止装置

## 5.2 掘進時の緊急時対策

推進機は、停電時や巨礫の挟まれなどの緊急時においても確実に排泥管を閉鎖させ、切羽を保持させる必要がある。そのため、掘進機の排泥設備に下記の緊急時対策を装備した（図 10）。

- ① 隔壁の排泥取入れ口を閉鎖するチャンバゲート
- ② 停電時に残りのエア圧で強制閉鎖するピンチバルブ
- ③ 停電時に自重落下させて排泥口を遮断する緊急ゲート
- ④ 昼夜作業の交替時や休工前に排泥口の閉塞蓋の設置

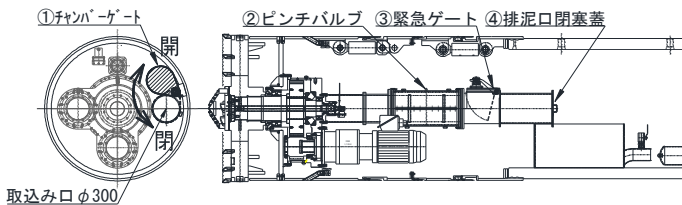


図 10 推進機安全対策

## 6. 長距離推進対策と実施状況

泥濃式推進工法は、チャンバー内に注入した高濃度泥水により切羽面に泥膜を形成し、泥水の液圧により切羽安定を図る。加えてこの泥水は掘進機の外周を通過して推進管の外周に供給されるため、外周地山の崩壊防止および推進管と地山の摩擦抵抗の低減の役割も果たしている。

しかし、長距離推進を確実に施工するためには、テールボイドを長期間に亘り安定保持し周面摩擦力を低減することが必要である。そのため、切羽への高濃度泥水の注入に加え、テールボイドの安定化を目的とした可塑性の注入と周面摩擦力の低減を図るため多孔管からの ES 剤（滑材）注

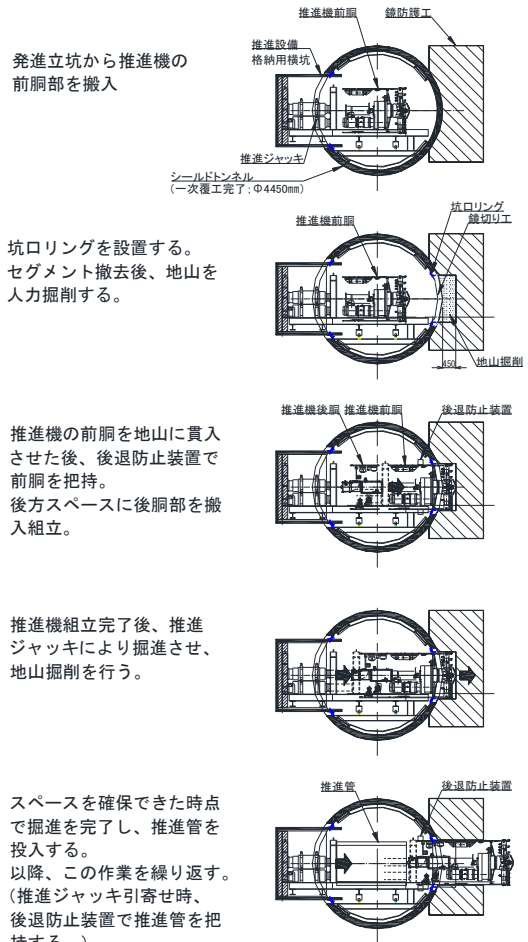


図 9 推進機組立・発進手順図

入を行い、これらの推力低減対策を実施することにより計画総推進力を 4187kN と設定した（図 11）。

### 6.1 高濃度泥水

表 2 に高濃度泥水の配合表を示す。

表 2 高濃度泥水配合表（1 m<sup>3</sup>当り）

粘性調整剤 ハイロング	目詰材(逸泥防止剤) パルトップ	水
(kg)	(kg)	(kg)
14.0	4.0	989.6

高濃度泥水は、地上プラントから推進切羽まで最大 1,300m の長距離圧送となるため、圧送性に優れ排泥時には排泥管内の沈降防止に効果のある増粘剤「ハイロング」と、泥膜の造成効果に優れたパルプ繊維の逸泥防止剤「パルトップ」を添加した泥水を採用した。

高濃度泥水の注入量は、掘削対象土量の 50% に設定し、切羽の進行と同時に発生する掘進機の外周オーバーカット（25 mm）部に充填されることにより、推進機外周の地山保持と推力低減を行った。

### 6.2 可塑性注入工

推進作業中は、高濃度泥水のテールボイド部への加圧充填に加え、推進作業終了後のテールボイドの保持と摩擦低減を目的に、推進機後部1本目の推進管注入孔より「フルキープ」を充填した(表3)。フルキープは、二液性の固結型滑材で20~40秒で可塑性するため、地下水による希釈の恐れが無く、土粒子間隙部への浸透後に可塑性することで、テールボイドの保持と摩擦低減効果を継続できる。

可塑性注入量は発生ボイド量の50%(101ℓ/m)とし、発進直後から到達完了するまで推進作業中に注入を行った。

表3 可塑性配合表(400ℓ当り)

A液		B液	
フルキープA剤	50kg	フルキープB剤	20kg
水	164ℓ	水	190ℓ
	200ℓ		200ℓ
400ℓ			
外観:無色透明液体		外観:白色透明液体	
比重:1.05~1.07以上		比重:1.05~1.07以上	
pH:10~12		pH:8~11	

### 6.3 ES剤注入工

テールボイドは時間の経過とともに減少し、滑材の効果が低下することを防止するため、推進力自動低下装置(ESシステム)を使用し、テールボイド部にES剤(表4)を加圧充填することで周面摩擦力の低減とテールボイド部の保持を行った。

表4 ES剤配合表(300ℓ当り)

溶解割合(300ℓ)	ES剤(普通土用)	1.5kg
	水	299ℓ
外観	透明液状	
比重	1.0	
pH	7.0±0.5	
溶解粘度(20℃)	10分後	800mPa.s

推進力自動低下装置は、推進管の円周方向に7箇所(注)の注入孔を設けた多孔管を約40m間隔(17本毎)に配置し、延べ9箇所(注)に設置した(図11・12・13、写真10)。

ES剤の注入管理は、多孔管ごとに注入量と注入圧を確認できる地上プラントで行った。注入作業は、No.1多孔管から注入量(130ℓ/m)と注入圧(0.3MPa)を管理しながら、推進作業と同時に実施した。さらに、No.2多孔管から後方の多孔管については、多孔管ごとにテールボイド圧力の確認を行い、管理圧力が不足する場合はES剤の補足充填を実施することでテールボイドを保持した。

なお、滑剤注入用多孔管は掘進に伴い前方に移動することから、坑口付近のテールボイド部には、適宜可塑性注入を実施し、ES剤の補足充填を行い、推力低減に努めた。

## 7. おわりに

推進作業は、到達時に1274kNの元押しジャッキ推力で完了した。所要推進力は計画総推力4187kNの30%程度となっ

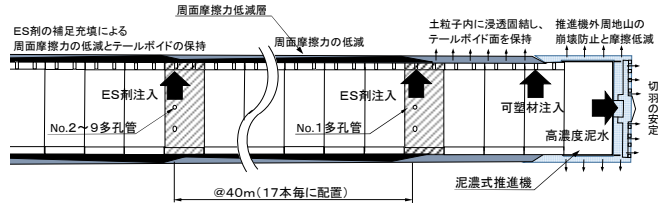


図11 推力低減システム模式図

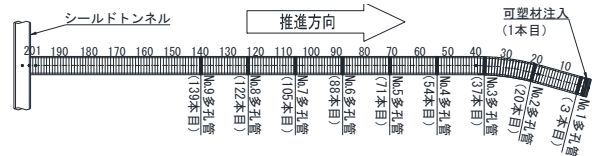


図12 推進力自動低下装置配置と管理方法  
(No.2~9の多孔管は、適宜補足注入を行い圧力管理を実施。)

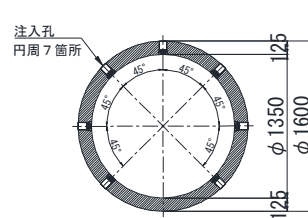


図13 多孔管断面図



写真10 ES剤注入状況

た。これは、計画周面摩擦力1.47kN/m<sup>2</sup>に対して、実周面摩擦力0.48kN/m<sup>2</sup>に大幅に低減できたこととなり、可塑性注入工ならびにES剤注入工が予想以上の摩擦低減効果を発揮する結果となった。

日進量は稼働日当り9.42m/日(昼夜作業)、最大日進量12.15m(昼夜作業)を確保できた。呼び径1350mmの標準日進量9.8m/日(昼夜作業)とほぼ同程度の進捗を確保できたことは、制約条件の多いシールド坑内での作業性や安全性を考慮した仮設計画と掘進管理によるものである。

狭いシールド坑内からの長距離推進工事は、事例も少なく、本報告が今後の同様な工事の参考になれば幸いである。



写真11 推進工事完了