

分岐シールドの発進工，及び 鋼製隔壁工法による立坑内へのシールド到達工

加藤英男¹・松井紀尚²

¹正会員 工修 鹿島・大豊・地崎建設共同企業体所長（〒143-0001 東京都大田区東海2-4）

²正会員 工修 鹿島・大豊・地崎建設共同企業体副所長（〒143-0001 東京都大田区東海2-4）

東京都水道局の三郷浄水場から大田区に築造中の大井給水所（仮称）までを結ぶ東南幹線のうち、大田区東海から品川区東大井までの区間を泥水式シールド工法によりトンネルを築造した。この工事において分岐シールドの発進，鋼製隔壁を用いたシールド到達工法を実施したので報告する。

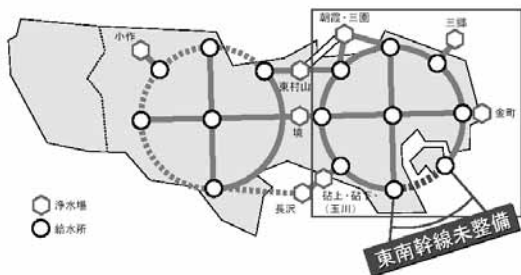
キーワード：分岐シールド，分岐発進，引抜き到達，均等係数，鋼製隔壁，流動化処理土

1. はじめに

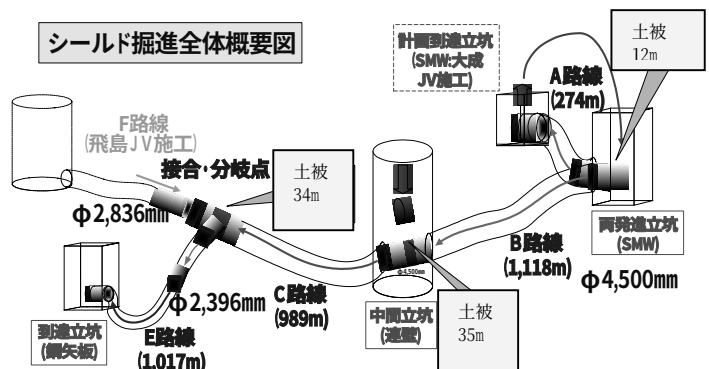
図1に示すように，東京都水道局では効率的な水運用や地震等の非常時におけるバックアップ機能の強化を目的として，浄水場と給水所及び給水所間を連絡するネットワークの構築を進めている。このうち東南幹線は，埼玉県三郷市内の東京都水道局三郷浄水場から現在大田区東海において築造中の大井給水所（仮称）までを結ぶ延長約45kmに及ぶ大規模送水管である。今回報告する工事は，東南幹線の未整備区間であった八潮から大井までの約3.4kmを泥水加圧式シールドにより施工したもので，高水圧下・砂層における発進・到達，親機から子機が直角方向に分岐発進するといった難易度の高い工事であったが，困難な施工条件を克服して無事に施工した。

2. 工事概要

図2にシールド工事全体概要図を示す。はじめに両発進立坑に投入したシールド機（親機：外径φ4,500mm）でA路線（274m）を掘進した。掘進完了後，計画到達立坑よりシールド機を引上げ，再度両発進立坑へ投入し，中間立坑までのB路線（1,118m）を掘進した。中間立坑で，子機（外径：2,396mm）の前胴を内蔵した親機中胴を投入し，その後分岐点までのC路線（989m）の掘進した。分岐点で親機シールド機内より子機を直角方向に分岐発進させ，到達立坑までのE路線（1,024m）を掘進した。また，接合・分岐点では他社施工のシールド機（φ2,836mm）と異型MSD地中接合を行った。



【図1】送水管ネットワーク図



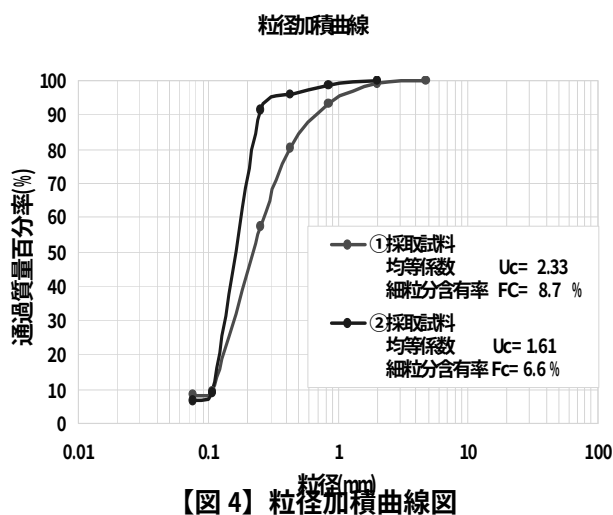
【図2】シールド工事全体概要図

3. 鋼製隔壁内へのシールド到達工

(1) 中間立坑引き抜き到達の施工条件

深さ (GL)	層厚	柱状図	土質区分	記事
-31.04	4.95		粘性土	
① 均等係数=2.33				
-34.34	3.30		細砂	砂の粒径均一 含水量中～多い
砂外径φ4500				
-36.99	2.65		微細砂	砂の粒径均一 所々、細砂となる部分がある
-38.19	1.20		シルト混り細砂	砂の粒径均一
-39.74	1.55		微細砂	砂の粒径均一
-40.44	0.70		シルト混り細砂	砂の粒径均一
② 均等係数=1.61				
-46.19			細砂	41～42m間、粗砂でφ2～5mm程度の 細砂を少量混入する 全体的に見て砂の粒径比較的均一 (5m間隔に粗砂となる部分がある)

【図3】シールド到達地点の土質柱状図



【図4】粒徑加積曲線図

中間立坑におけるシールド到達工事は、マシンを立坑内に完全に引き出す工事であったが、到達深度はGL-37mと深く、地下水間隙水圧が0.33Mpa (3.3kg/cm²) と高かった。また土質はTos層（洪積砂層）で、細粒分が10%以下と小さく且つ均等係数が1～2と粒径が均一であった。このような水圧・土質条件においては、クイックサンド現象（地中に浸透流が生じた場合粒子間応力が著しく減少し、土の支持力が失われる現象）を生じる時の限界動水勾配が小さく、坑口からの出水が生じた場合に地山が一気に流動破壊して立坑内へ砂が流出する危険が高い。さらに高水圧のため、小さな面積からの出水でもこれを止める事が難しい。このような難条件の到達工事において立坑を水没させた事故例も多い。図3に到達部付近の土質柱状図を示す。また図4に粒径加積曲線を示す。

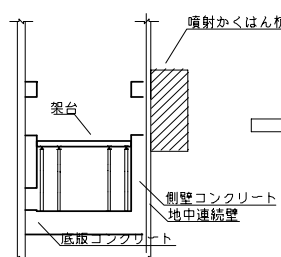
(2) 中間立坑への引抜き到達施工

図5に立坑内隔壁工法の施工フローを示す。

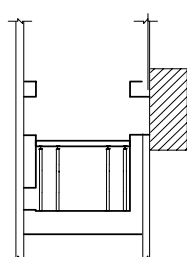
まず、到達補助工法として鏡切を行うための強度ゾーンを噴射攪拌杭（スーパージェットミディ工法）によって形成した。次に、シールドが立坑内に到達する前に鏡切を行った。強度ゾーンをシールド機で掘進する前に鏡切を行うので、この時点での出水の危険は小さい。

鏡切の後、シールド機全長が入る鋼製隔壁を中間立坑内に設置し、この隔壁内部に流動化処理土を充填した。その後、シールド機が隔壁の中を掘進して、隔壁蓋の手前まで到達させた。この時点でシールド機は完全に立坑内に入った状態となり、この後にさらに空推進する必要が無い。また、隔壁内に到

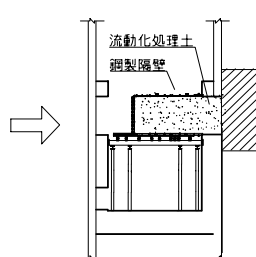
1. 地盤改良工



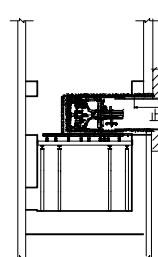
2. 鏡切工



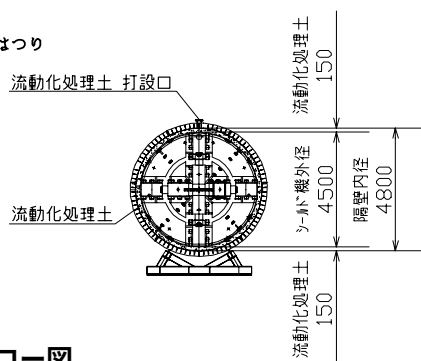
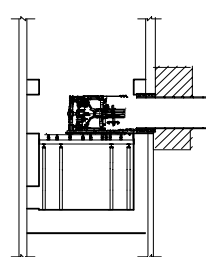
3. 鋼製隔壁設置・流動化処理土充填



4. 鋼製隔壁内掘進・到達



5. 鋼製隔壁撤去・流動化処理土はつり



【図5】到達工施工フロー図

達した時点で、セグメントの外側に形成される止水ゾーンは噴射攪拌杭，連壁，立坑側壁を足した長さの 7.0m と長く取ることが出来るため止水に対する信頼性が高い。

最終セグメントのグラウトホールを開け，漏水の無いことを確認してから鋼製隔壁を解体した。その後，鋼製隔壁とシールド機の間に残っている流動化処理土をはつてシールド機を掘り出した。

(3) 施工実績

写真 1～4 に施工状況を示す。

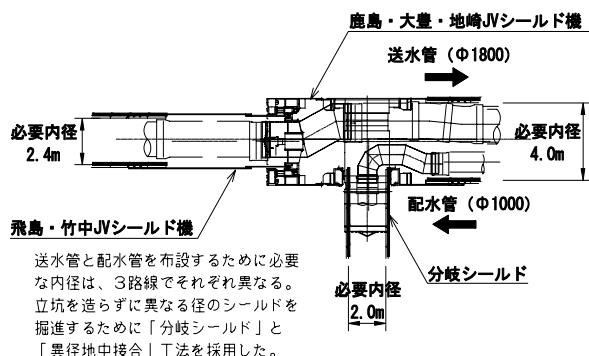
a) ノーズダウンについて

シールド機外径 $\phi 4500\text{mm}$ に対して，鋼製隔壁内径は $\phi 4800\text{mm}$ であり，シールド機外周に残る流動化処理土の厚さは 150mm である。隔壁内掘進中に，シールド機の重量によって下部の流動化処理土が削られやすくなり，シールド機が徐々に下がってしまうことが懸念されたが，ノーズダウンは全く無かった。

b) 流動化処理土の掘削について

流動化処理土掘進中は，シールド機チャンバー内が閉塞気味となり推力が上昇した。鋼製隔壁の変状，隔壁蓋に設置した支保工に作用する軸力等を管理しながら慎重に掘進した。

地中接合・分岐点詳細図



【図 6】地中接合・分岐詳細図

- ・ $\phi 4500\text{mm}$ の親機から $\phi 2396\text{mm}$ の子機が直角方向に分岐発進した。
- ・ 子機発進の開口を作る方式として新工法を開発した。（ゲート旋回方式）
- ・ 地上の制約により，子機発進のための地盤改良工を実施できなかった。
- ・ 分岐発進地点の土質は洪積砂層（江戸川層）で，水压は 0.3Mpa と高かった。

写真 5 は親機全体，写真 6 は子機が発進する親機中胴部分を示す。図 7，8 は子機発進の概念を示す。



【写真 1】隔壁組立状況



【写真 2】隔壁組立完了



【写真 3】隔壁撤去状況



【写真 4】撤去完了



写真 5 親機全体

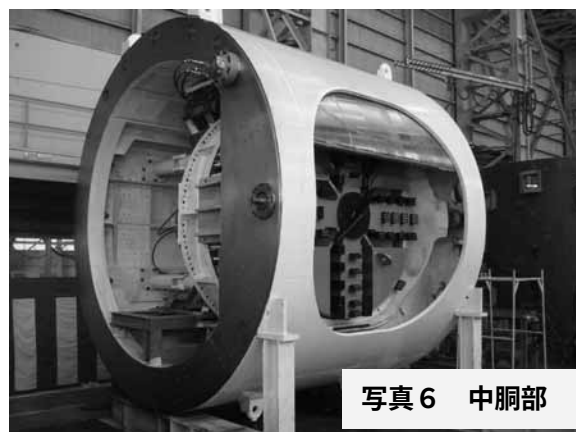


写真 6 中胴部

4. 分岐シールドの発進

(1) 分岐発進の概要

図 6 に示すように，必要な内径の異なる 3 本のトンネルを立坑を築造しないで施工するために，分岐発進と異径地中接合工法が採用された。

図7 C路線掘進時

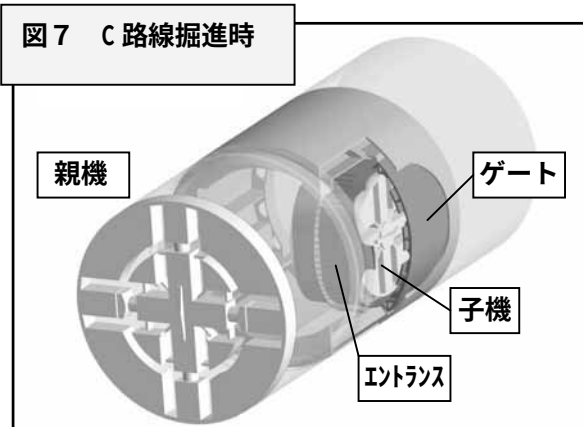
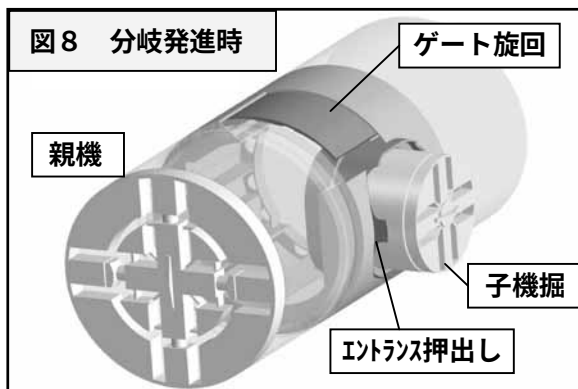


図8 分岐発進時



(2) 分岐発進の与条件（課題）と対策

a) 親機到達精度の確保

分岐発進地点で地中接合も行うため、親機の高い到達精度が求められた。これまで実績のある分岐発進は、親機が内胴と外胴の二重構造を持ち、外胴を前方にスライドさせて子機発進用開口を設けたが、本工事では外胴スライド時の掘進精度が懸念された。そこで、親機を通常の掘進で精度良く到達させた後、ゲートを開けて子機を発進させる方式を開発した。

b) シールド機の強度、変形量、止水性の検討

親機のスキンプレートには、子機発進用の開口部があり、親機でC路線を掘進する際は、この開口をゲートで内側から塞ぐ構造となっている。親機掘進中に作用する土圧・水圧に対するマシンの強度及び変形量、開口部とゲートのクリアランスの止水性が懸念された。設計時点でシールド機のFEM解析を実施したほか、実機製作後に水圧0.7Mpaを作用させる実験を行い、変形量と止水性の確認を行った。

開口とゲートのクリアランスには図9に示すようにVDシールを二段装備した。

図9 シール構造図

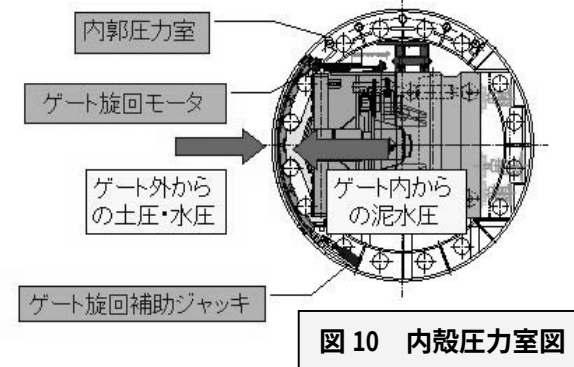
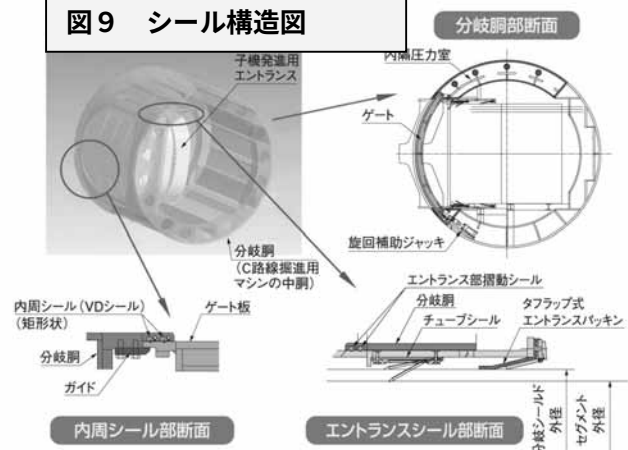


図10 内殻圧力室図

c) ゲートを地中で開ける

ゲート旋回に必要なトルクを低減するため、図10に示すように、親機中胴に内殻圧力室を装備し、この中に0.3Mpaの泥水を注入した。この結果、ゲートが地山から受ける土水圧をと、内側から受ける泥水圧を均衡させ、ゲート旋回時に作用する抵抗を小さくした。

d) 出水事故の回避

4分割された子機を組立てながらの発進となるため、ゲートを開けた後シールド機全体がエントランスを通過するまでに22日を要した。その間0.3Mpaの水圧に対してエントランスパッキンのみで対抗する状況となる。エントランスパッキンは、図9に示すように、坑口側にタフラップ式パッキン、切羽側にチューブ式パッキンの2段を装備した。

e) 水道管を2条布設するための内空確保

トンネル内にφ1800とφ1000の水道管を二条敷設するため、2段装備したエントランスリングが水道管と干渉してしまう。そのため、エントランスリングを子機掘進時に子機と固定することによって地山へ560mm押出すと共に、2段あるうちの坑口側のエントランスリングを、初期掘進完了後撤去した。

(3) 施工実績と今後の課題

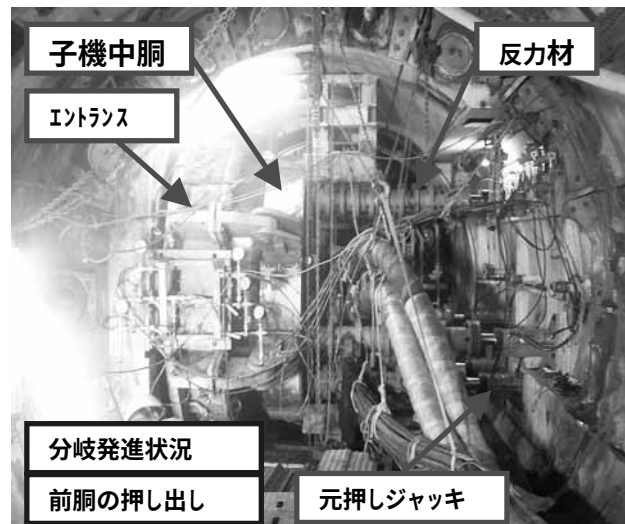
写真7, 8は施工時の状況, 写真9は分岐発進完了状況を示す。

前述した課題に対する対策が効を奏し, 大きなトラブルもなく分岐発進を完了することができた。ゲートが開かないトラブル, エントランスから出水した場合のトラブル等, 万一を想定した対策も講じていたが幸いなことにそれらは使わずに済んだ。

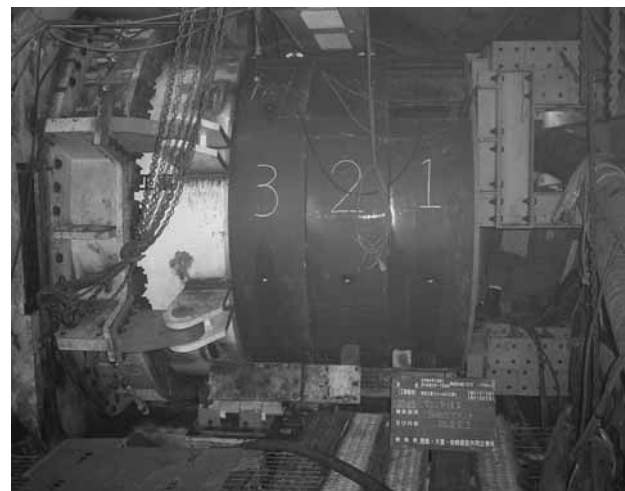
坑口側のパッキンを撤去する際は, セグメントに設置した注入孔から発泡ウレタンを注入することにより止水性を確保した。

5. まとめ

本工事で採用した各種の技術は, 大深度化, 立坑用地確保難, コスト縮減等, これから益々シールド工事に求められてくる条件を解決する技術として有効であると考ええる。本工事の施工実績が, これからのプロジェクト設計・施工の一助となれば幸いである。



【写真7】 元押しジャッキによる施工状況



【写真8】 仮組みセグメント組立状況



【写真9】 分岐発進完了状況