

地下鉄13号線工事におけるセンターホール ジャッキ方式を利用したシールドの発進

Starting of the shield using center hall jack for subway line 13

村松 泰¹・永田憲二²・守山 亨³・上地 勇⁴

Yasushi Muramatsu and Kenji Nagata and Toru Moriyama and Isamu Kamidi

¹正会員 東京地下鉄株式会社 建設部 早稲田工事事務所 (〒169-0075 東京都新宿区高田馬場1-1-5)

² 東京地下鉄株式会社 (〒110-8614 東京都台東区東上野3-19-6)

³正会員 佐藤・日本国土・大本建設工事共同企業体 (〒169-0072 東京都新宿区大久保2-4-12-1002)

⁴ 佐藤・日本国土・大本建設工事共同企業体 (〒169-0072 東京都新宿区大久保2-4-12-1002)

E-mail:Kamiji@satokogyo.co.jp

Subway line 13 construction starts from Yurakucho Line new station Ikebukuro Station that has already practiced medicine, and go south in Meiji Street, and reach Shibuya; construct extension 8.9km all-out. The plan of a starting method of a shield assumed it centre hall jack method from shield drive length being short, there being two times of starting to make a U-turn again in Nishiwaseda mechanic ward public works. It was technology devised in compact shield tunneling method, and this starting method has been applied to a sewer tunnel of diameter 2-4m till now. This report is about facilities plan of a starting method how it is first and an enforcement result with size of a subway section class of diameter 8m.

Key Words : center hall jack , back anchor frame , working space

1. はじめに

地下鉄13号線工事は、すでに開業している有楽町線新駅池袋駅を起点として明治通りを南下し、渋谷に至る総延長8.9kmを築造するものである。このうち、西早稲田工区土木工事（以下本工事と

いう）においては、シールド掘進距離が短く、またUターンを行うため、発進が2回あることなどから、センターホールジャッキ方式によるシールドの発進方法（以下本発進方法という）を計画した。この発進方法は、コンパクトシールド工法において考案された技術であり、これまでφ2m～

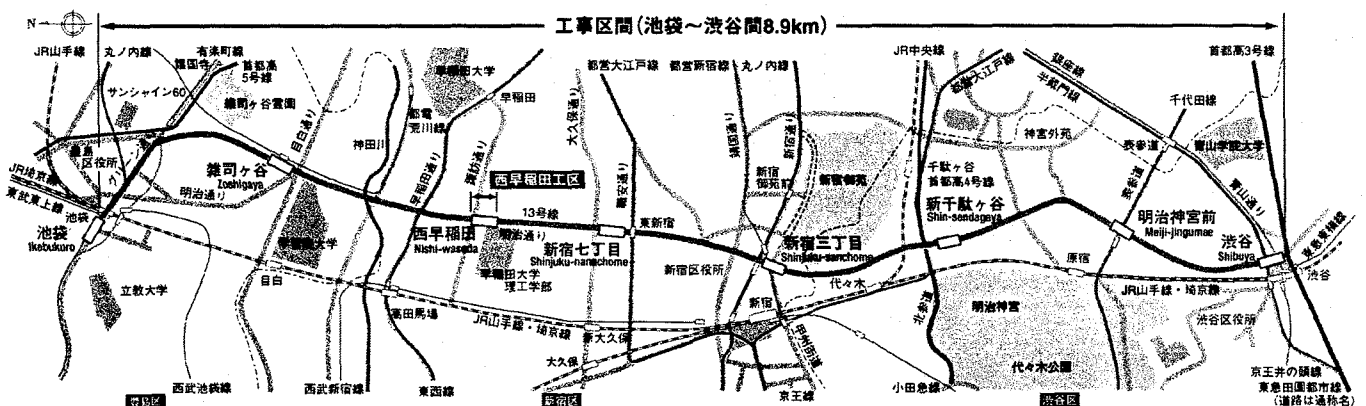


図-1 路線全体平面図

φ4mの下水道トンネルへ適用されてきた。本報告は、φ8mの地下鉄断面クラスの大きさでは初の適用となる本発進方法の設備計画および実施結果について報告するものである。

2. 工事概要

本工事は、すでに開削工法により構築された西早稲田駅（仮称）の両端にあたる終端立坑と始端立坑を併設トンネルで連結する駅シールド工事である。（図-2参照）本シールドは、シールド外径φ8,150mm、機長8,580mmの泥土圧シールドにより、この終端立坑から発進して始端立坑でUターンを行い、再び終端立坑に到達するものである。工区延長は167.8m、掘進延長は335.6mであり、覆工は外径φ8,000mmのRCセグメントである。掘削対象土質は自立性の高い上総層粘性土と砂質土の互層である。（図-3参照）

3. 発進方法および設備の検討

従来のシールド発進方法は、仮組セグメントの組立て（図-4参照）とシールドジャッキでの掘進を繰り返して、本セグメントの組立てまでが行われている。しかし、本工事で従来の発進方法を用いると様々な課題が発生するため、大きく改善する必要があった。この課題については以下のとおりである。

- ① 掘進距離が167.8mと短いため、解体した仮組セグメントを点検・補修して再利用するまでの期間が短く、仮組セグメントを廃止できる発進設備が必要となる。
- ② 発進基地となる終端立坑の資機材投入開口は、シールド組立て位置の直上にあたり、従来の発進方法で組立てていく仮組セグメントの供給が非常に困難である。また、シールド機長の半分以上を掘進後、真円保持装置や後方デッキ等の組立

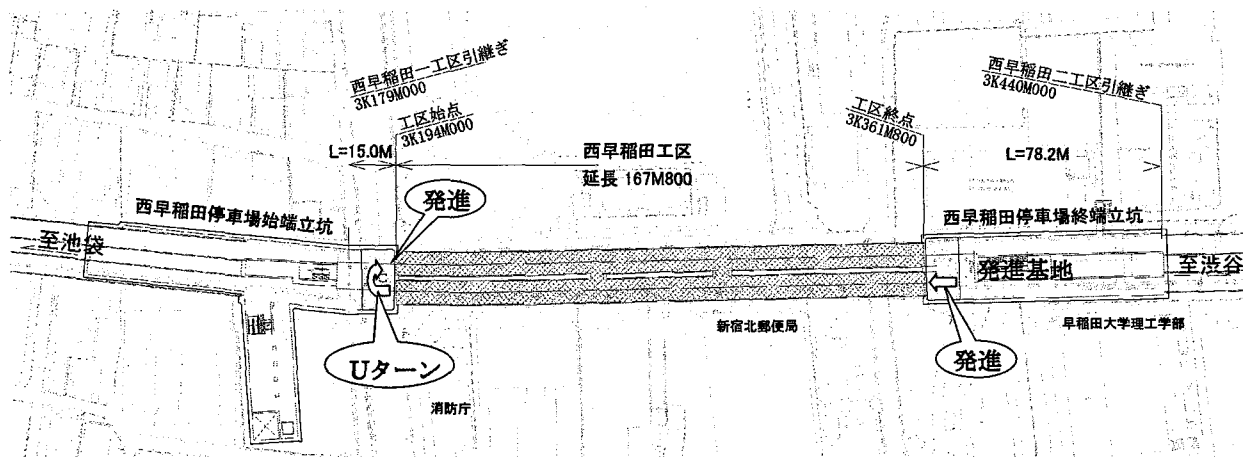


図-2 工区平面図

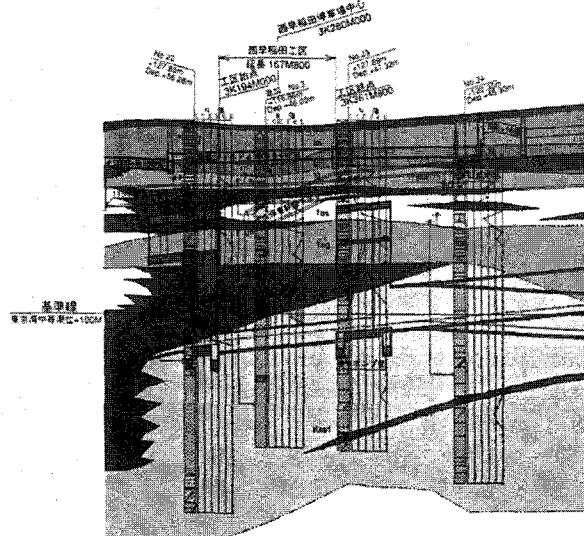


図-3 地質断面図

地質層序表

地質時代	地層名	地質名	地質記号
更新世	埋土	ローム・瓦礫など	
	沖積層	粘性土・シルト 礫・礫質土	Ag
第四紀	関東ローム層	ローム	Ro
		火山灰質粘性土	Tc
	段丘礫層	粘性土・シルト	
		砂・砂質土	tgS
	東京層群	礫・礫質土	tg
		粘性土・シルト	
	上総層群	砂・砂質土	Tos
		礫質土	Tog
		粘性土・シルト	
		砂・砂質土	Kas1
		礫・礫質土	Kag1
		粘性土・シルト	Kas2
		砂・砂質土	

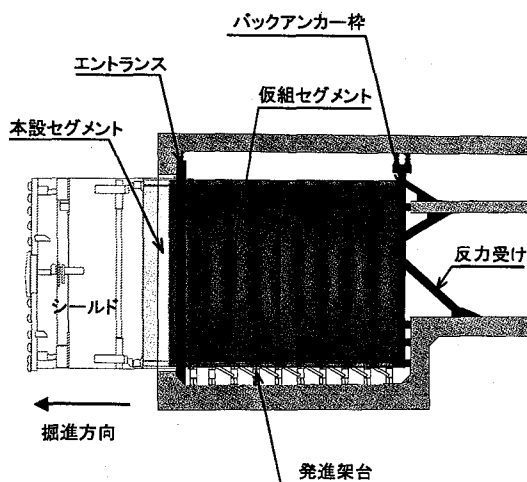


図-4 従来のシールド発進設備の概要

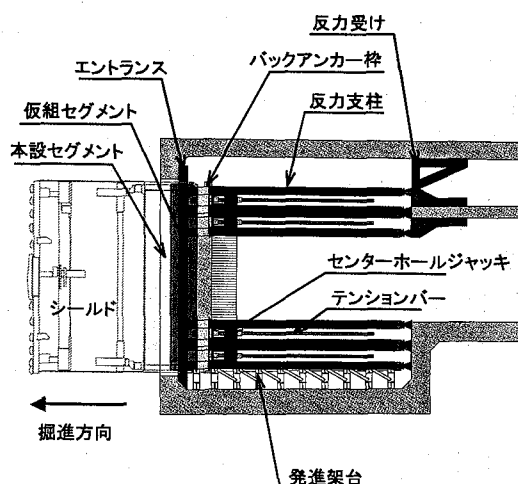


図-5 センターホールジャッキ方式発進設備の概要

表-1 シールド発進方式による経済性比較

発進設備の種別	製作・Uターン時の転用	主要設備一覧	比率
センターホールジャッキ方式	一式製作して転用	鋼製セグメント1,200 2リング(往路1・復路1) 反力支柱 $\phi 318.5 \times 17.4t$ 8本(転用) $\phi 267.4 \times 15.1t$ (4連) 2組(転用) バックアンカー棒BH-1200 $\times$ 400 1式(転用) 反力受け 1式(転用) センターホールジャッキ200t 8台 ラムチエア200t用 8台 テンションバー $\phi 110 \times (6, 160+3, 650L)$ 8本	0.82
仮組セグメント方式	RCを補修後使用	鋼製セグメント1,200 2リング(往路1・復路1) 鋼製セグメント1,600-Kピース 12ピース(往路6・復路6) RCセグメントの補修 12リング(往路6・復路6) バックアンカー棒 1式・反力受け 1式(転用)	1.00
	鋼製一式製作して転用	鋼製セグメント1,200 10リング(往路9・復路1) 鋼製セグメント1,200-Kピース 8ピース(復路) 鋼製セグメントの補修 8リング(往路) バックアンカー棒 1式・反力受け 1式(転用)	1.11

注) 仮組セグメントにRCを用いた発進方法を基準とする。

てを行うため、シールドの後方に有効な作業スペースが必要となる。

- ③ Uターン立坑となる始端立坑の使用範囲は15mと非常に短いため、再発進時の仮組セグメントの供給が困難である。さらに、初期掘進時における本セグメント、レール及び枕木等の資機材の供給が非常に難しい。

以上の課題を解決するため、すでに下水道工事の適用事例から仮組セグメントの廃止、発進設備の転用性に優れることが確認されている「センターホールジャッキ方式」の採用について検討を行った。

センターホールジャッキを用いたシールド発

進方法は、従来固定されているバックアンカー棒の後方に、図-5に示すようにセンターホールジャッキを設置し、このバックアンカー棒を一体化したシールドを推進移動させ、シールドを地山に貫入するものである。本発進方法を採用することにより、次項に示す効果が期待できる。

① 施工性について

- ・効率的な施工が可能であること
- ・資材の供給が直上の資材投入開口に限定される終端立坑でも、掘進とともにできていくシールドの後方スペースに直接資材の供給が可能となること
- ・資材の供給が水平方向からに限定される始端

立坑でも、シールドの後方スペースを利用して資材の供給が可能となること

② 経済性について

- ・RCセグメントを仮組セグメントに用いる通常の方式を基準とした経済性比較（表-1参照）からも有利であること

③ 環境負荷低減について

- ・鋼製の仮組セグメントが廃止できるので鋼材の重量が大きく低減できること
- 以上より、本発進方法を選定した。

4. 推力伝達メカニズムと発進手順

(1) 推力伝達メカニズム

図-6に示すようにシールドを後方から押し進めるためのバックアンカー棒、これを推進させるセンターホールジャッキ、また、ジャッキ盛替え用のラムチェアーを配置する。本工事での推力の伝達は、センターホールジャッキの後方ナットを締め込むことにより、ジャッキ圧力がテンションバー（ $\phi 110\text{mm}$ ）に直接伝達する。そして、反力支柱先端固定部を介して反力支柱に伝達し、最後には反力受けまたは構築壁へ伝達するものである。

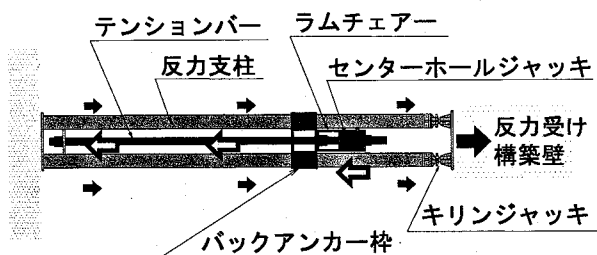


図-6 推力の伝達メカニズムの概要

(2) 発進手順

本工事での発進手順は以下のとおりである。

（図-5参照）

- ① 立坑にシールドを組立て、テールブラシの保護および推進力を伝達させるため仮組セグメントを1リング、シールド内に組立てる。また、反力受けをアンカーボルトで構築に設置する。
- ② 反力支柱を設置後、バックアンカー棒を組立て、テンションバーをバックアンカー棒の穴を通して反力支柱先端部で固定する。バックアンカー棒後方にラムチェアーおよびセンターホールジャッキを取付ける。油圧ポンプユニットとセンターホールジャッキとを油圧ホースで

連結する。

- ③ センターホールジャッキを使いバックアンカー棒ごとシールドを前進させ、シールドが地中に入るまでセンターホールジャッキを盛り替える。

5. 往路の発進時における設備計画

今回、初の大断面シールドの適用となるため、シールド発進時の推力は、過去の発進実績から推定した。実績推力は、装備推力の30%程度であることが多いので、本工事においては装備推力47,500 kNの34%である16,000 kNとした。この反力を確保するとしての発進設備部材を設計した。

極小な空間での発進設備の設置箇所、設備を設置するための作業スペースを考慮し、さらに資材の供給がシールド本体直上の資材投入開口に限定されることから発進設備の規模をできるだけ縮小する必要があった。そのため、図-7に示すように、作業に支障とならない範囲で反力支柱の間隔をなるべく狭めることにより、部材寸法を縮小し、広い作業空間を確保することとした。

また、シールド掘進ではバックアンカー棒の移動距離、立ち精度がシールドの方向制御に大きく影響するため、各センターホールジャッキストローク（8箇所）およびバックアンカー棒の4隅のストローク（4箇所）を自動計測し、バックアンカー棒の傾斜を下げ振りにて計測管理することとした。

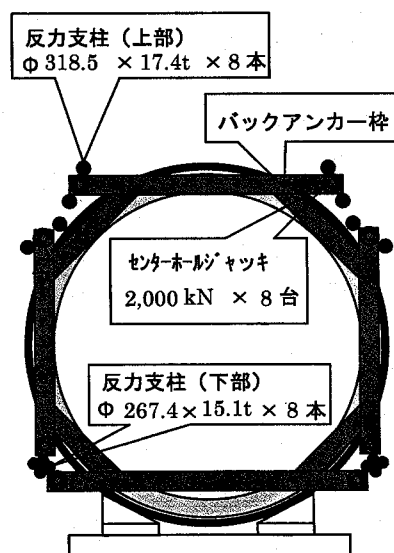


図-7 往路における発進設備断面図

6. 往路の発進時における実績

往路での発進設備設置作業は、シールドを縦断勾配・10%で設置後、シールド上で反力支柱の測量および設置作業を行った。しかし、高所・狭隘な場所で10mと長い反力支柱を1本ずつ測量しながら設置したので作業が繁忙し設置時間を要した。

掘進においては、ストロークおよび荷重の自動計測を行い、ストロークについては実測値と自動計測値を対比・確認しながら進めた。仮セグメントとバックアンカー棒をボルトで締結していたため、シールドの地山貫入距離が進むにつれてシールドのローリングがバックアンカー棒に伝達し、バックアンカー棒自体がローリングして反力支柱と干渉することになった。そのため、バックアンカー棒とセグメントを締結しているボルトを外し、シールドのローリングが反力設備に伝達しないように改良した。また、センターホールジャッキの配置が、バックアンカー棒の上下均等に4基ずつ配置したため、上部4基のジャッキ圧力が先行し、シールドが下向き傾向の状態となった。これを修正するため、下部4基のみのシールド掘進として管理を行った。このため、本発進設備の設計推力の半分である8,000 kNを上限とした総推力で管理することとなり、計画以上に掘進時間を要することとなった。また、下部のみの片押し状態を続けたため、バックアンカー棒の片持ち構造となる部材および部材接合部に変形が生じ、自動計測でのストローク管理が困難となり、煩雑な実測値測定から姿勢制御を行うこととなった。復路では、これらの改善が必要となった。

一方、掘進を3.7mまで実施した後、本発進方法での長所であるシールド機後方に作業スペースが確保できた。これにより、直上から形状保持装

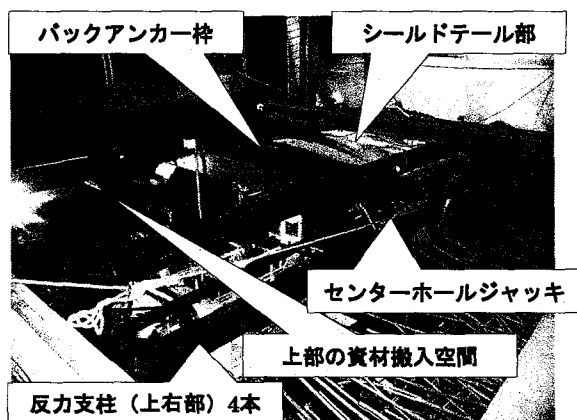


写真-1 往路の発進設備とシールド地山貫入状況

置および後方デッキを投入して容易にシールド機を組立てることができた。また、初期掘進時もセグメント等の資機材も上部からの供給が可能となった。

7. 復路の発進時における設備計画

復路における発進設備は、トンネルの縦断勾配が上り10%であること、往路においてバックアンカー棒の耐力不足があったことなどから、往路で使用した部材を改良する計画を行った。復路では、発進立坑が隣接シールド工区の作業基地であり、クレーン等の揚重設備に制約があるが、精度を確保して短期間に反力支柱を設置する新しい設置方法を考案した。改良した点は次のとおりである。

(図-8 参照)

- ① バックアンカー棒の部材接合部を補強する。
- ② バックアンカー棒下部にセンターホールジャッキを4基増設し総推力を8,000kN大きく(下部のみで16,000 kN, 全体で22,000kN)する。
- ③ シールド貫入後にバックアンカー棒の変形防止用の補強部材を設置する。
- ④ バランスのとれた推力をバックアンカー棒に伝えるため、センターホールジャッキの油圧を5系統に細分化して改善を図る。
- ⑤ シールド回転後、発進位置に移動する途中で、シールド外周にブラケット架台を設置し、それに反力支柱を背負わせて、さらにバックアンカー棒まで設置した状態で発進位置まで移動し、反力支柱の前後を固定してからブラケット架台を撤去し、反力支柱を設置する。

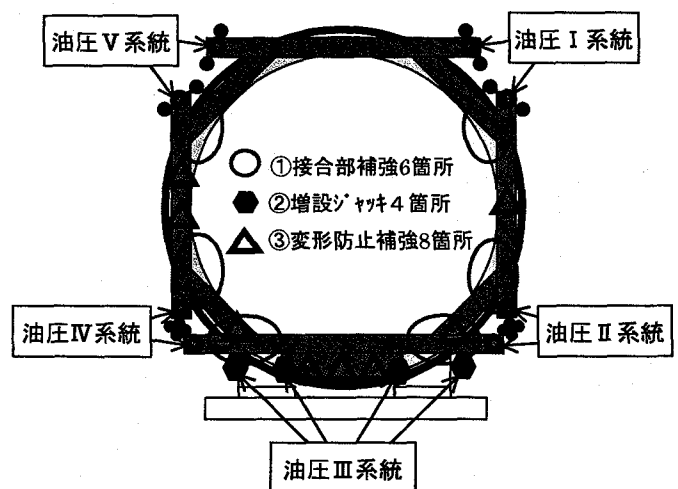


図-8 復路における補強概念図

8. 復路の発進時における実績

復路では、シールドが水平状態である移動途中に、ブラケット架台を精度良く設置した。これに反力支柱を固定してからシールドを発進位置まで移動し、所定勾配に調整してから反力受けとの結合を図った。これにより、発進設備の設置精度は高いものとなった。また、往路で苦労した位置測量は、ブラケット架台設置時の簡易なものだけとなり、発進設備の設置作業は、位置固定の揚重設備で反力支柱を上架できる位置にシールドを移動させて行っただけで、計画以上の進行で発進設備を設置できた。

掘進においては、下部にセンターホールジャッキを増設したことと油圧系統を細分化したことにより、各ジャッキのストローク調整が容易となり、バックアンカー枠の局所に無理な負担がなく、部材の変形はまったくみられなかった。

図-10は、シールド貫入時の掘進ストロークと各油圧系統のジャッキ1基分の推力との関係、また、掘進ストロークと全ジャッキでの総推力との関係をグラフ化したものである。センターホールジャッキのストローク長などを考慮した上で、1ステップの掘進ストロークを300mmとした。掘進開始後1500mm地点では、チャンバー内に掘削土が充満したため、全ジャッキの推力が増大した。また、油圧Ⅲ系統の推力変化が掘進初期から安定していたことから、増設した4基のジャッキの配置は妥当であったとかがえる。また、総推力に

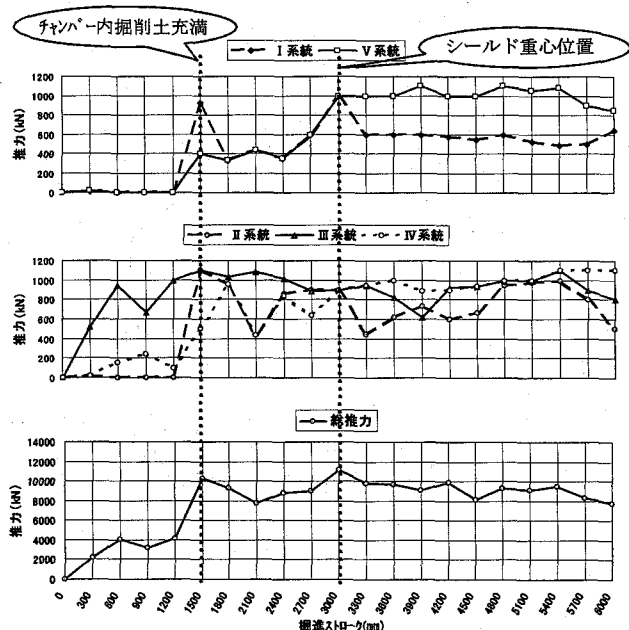


図-10 掘進ストロークと推力変化図

おいては、シールドの重心位置が地山に貫入した地点(3000mm)が最大となり、その後緩やかに減少していった。これらのことから、復路ではバランスのとれたスムーズなシールドの発進となった。

また、シールド貫入後は、バックアンカー枠に変形防止用の補強部材を設置したことにより、初期掘進開始直後から制約なしの総推力で掘進することができた。

始端立坑では、往路から搬送した資機材を復路へ供給しなければならないため、シールド貫入後初期からトラバーサーを設置することができた。

以上の結果より、初期掘進後の本掘進への段取替え期間を、従来の仮組セグメント方式の半分以上に縮減することができた。



写真-2 復路の発進設備と地山貫入後の立坑状況

9. おわりに

本報告では、大断面のシールドにおける本発進方法による作業空間の確保などの適用性を確認した。今後大断面のシールドに適用するにあたっての留意点は次のとおりである。

- ① センターホールジャッキの配置と油圧系統
- ② バックアンカー枠の推力に対する耐力確保
- ③ 反力支柱の設置方法

今後の狭隘な場所での大断面シールドの発進設備計画に供せるよう、本報告が参考になれば幸甚である。

参考文献

- 1) 宮崎, 早川: センターホールジャッキ方式を利用したシールドの発進方法, 第58回年次学術講演会, 2003.9.
- 2) 北山, 中川, 鈴木 他: センターホールジャッキを用いたシールド分割発進方法の施工実績, 第59回年次学術講演会, 2004.9.
- 3) 守山, 久保田, 村松 他: 駅シールドにおけるセンターホールジャッキ方式を利用した発進, 第60回年次学術講演会, 2005.9.