

シールド工法を併用した ハイブリッド推進工法による管路築造

門口 達彦¹・吉田 英典²

¹株式会社奥村組 東日本支社 土木第1部 (〒108-8381 東京都港区芝5-6-1)
E-mail:tatuhiko.monguti@okumuragumi.jp

²株式会社奥村組 東日本支社 機械部 (〒108-8381 東京都港区芝5-6-1)
E-mail:hidenori.yoshida@okumuragumi.jp

推進工法は、施工条件によりシールド工法に比べ、工期・工事費等で有利となる場合がある。このため、大口径・長距離・急曲線など、シールド工法での施工が適当と考えられる施工条件においても推進工法が適用される事例が増加している。

一方、推進工法では、施工延長が伸びるほど、また急曲線の頻度が増え、曲線半径が小さくなるほど掘進不能に陥るリスクが高くなるため、安全な施工と築造される管路の品質確保に関わる限界を見極めつつ、推進工法適用の妥当性を十分考慮することが重要である。本報告では、推進工法を基本とし、推進工法の適用に課題が多い施工区間についてはシールド工法に変更できるハイブリッド推進工法による管路築造工事の事例を紹介する。

Key Words : hybrid pipe jacking method in combination with shield method, neighboring construction, sharp curved line construction

1. はじめに

施工途中で推進工法からシールド工法に変更するにあたっては、様々な課題が生じ、手間と時間を要する。本工事では、その課題を克服し、安全に施工するための技術的工夫を取り入れたハイブリッド推進工法を採用し、推進工法の経済性を生かした施工を可能とした。以下に、本工事の概要、ハイブリッド推進工法の採用理由、ハイブリッド掘進機と諸設備等について報告する。

表-1 工事概要

工事名称	井戸木線系統変更管路工事(その1)		
工事場所	自) 埼玉県上尾市大字大谷本郷字前原80-1(仮1立坑付近) 至) 埼玉県さいたま市北区吉野町2-211(仮3立坑付近)		
発注者	東京電力株式会社 埼玉工事センター 管路グループ		
施工会社	奥村・大林・鉄建・日本国土開発共同企業体		
工期	平成21年12月22日～平成25年6月20日		
工事内容	トンネル延長 L=1,549m(両発進)		
	マンホール築造(ケーソン)	Φ5500	仮1立坑
	マンホール築造(現場打)	A型	仮2・仮3立坑

表-2 トンネル内容

	1工区	2工区
	仮2立坑 ⇒ 仮1立坑	仮2立坑 ⇒ 仮3立坑
各工区延長	567m	982m
推進延長	328m	200m
シールド延長	239m	782m
平面線形	18R×3箇所	200R×1箇所
	300R×2箇所	300R×3箇所
縦断線形	-2.76%→-0.195%	+0.209%→+1.000%→+0.200%
土被り	11.1m～13.2m	6.7m～11.3m
特徴	R=18mのS字カーブ	JR高崎線横断
管 材	NS推進管 内径2,200mm 外径2,580mm L=2.43m	
	RCセグメント 内径2,200mm 外径2,500mm L=1.0m	
	鋼製セグメント 内径2,250mm 外径2,500mm L=1.0m (18R区間 L=0.3m)	
土 質	大宮層の第一砂質土(Ds1) N値 9～65	
	大宮層の第一粘性土(Dc1) N値 7～40	

2. 工事概要

本工事は、電力供給ルート強化のため、既設送電線と共同溝の区間に管路を新設し、地中連携を図るものである。工事概要およびトンネル内容を表-1、表-2に示す。また、工事概要図(平面図)および縦断図を図-1、図-2に示す。

JR高崎線の横断に関しては、土被りが約10m(3D以上)あり、掘削断面の土質は大宮層の第一砂質土(Ds1 N値9～65)と粘性土(Dc1 N値7～40)の互層で、比較的安定している。しかし、その上部には軟弱な沖積層の

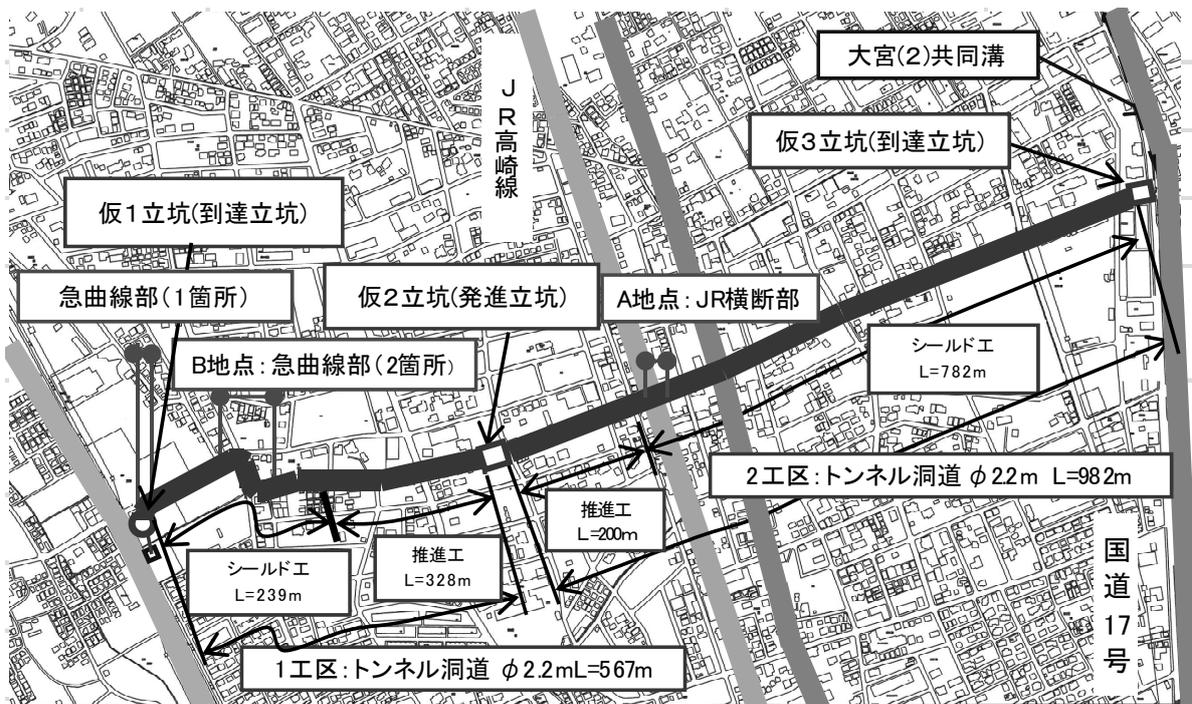


図-1 工事概要図 (平面図)

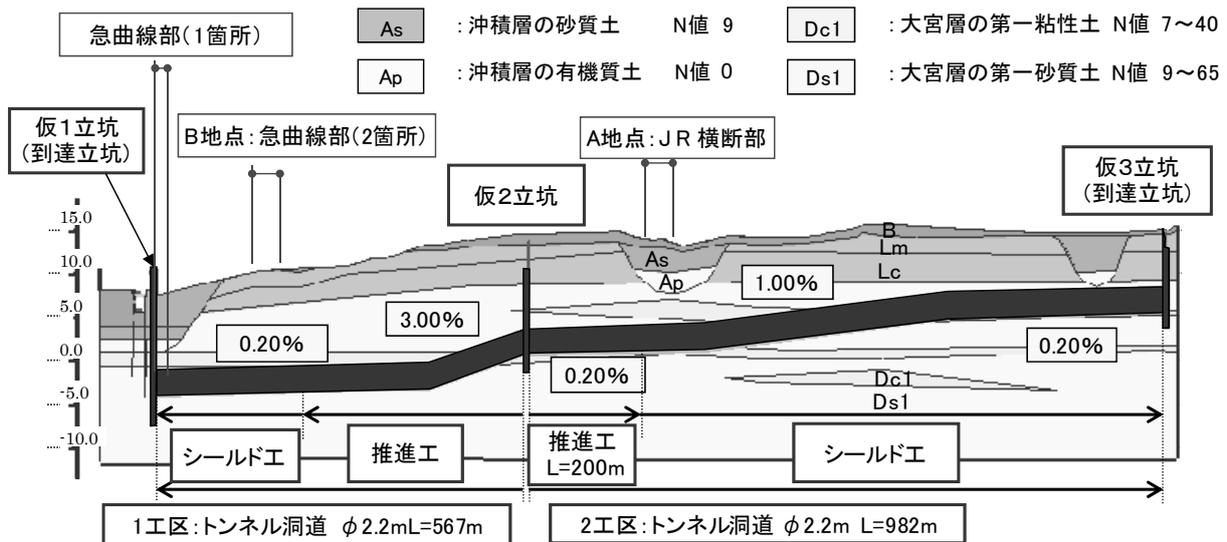


図-2 縦断面図

有機質土 (Ap N値0) と砂質土 (As N値9) が存在しており、トンネル施工時の軌道に対する影響検討を実施する必要があった。

当初、標準工法は示されておらず、特に曲率半径18mの急曲線部および鉄道横断部の掘進については、より確実に施工できるシールド工法に着目した。

3. 工法の決定

原設計の管路計画線形には、曲率半径18mの急曲線部が3箇所とJR高崎線の横断部 (A地点, 写真-1) が含まれ

ている。2箇所の急曲線は近接しており、S字曲線となっている (B地点, 写真-2)。さらに、JR横断時の施工条件として、線路横断時の影響範囲区間では管体の移動を線路閉鎖時間帯のみ行うよう求められた。

これらの条件と定められた立坑用地との位置関係を考慮し、中間立坑を両発進立坑とした推進・シールド工法を併用したハイブリッド推進工法を提案し、これに基づき施工計画を立案した。

曲率半径 18mの急曲線部 3箇所を含む区間を 1 工区、JR 高崎線横断部を含む区間を 2 工区とした。

1 工区では最初の急曲線部の BC 地点手前までを推進工法で掘進し、その後、S 字曲線部および到達手前の急

曲線部（いずれも R=18m）を確実に掘進するため、シールド工法に移行する方法とした。1 工区のすべてを推進工法とする場合、急曲線に対応する中押し管、推力の伝達性、掘進精度、目地の止水性、支圧壁の耐力等、解決すべき技術的・経済的な課題が多く存在するため、全区間での推進工法の採用は困難であった。

2 工区では JR 高崎線横断時の施工条件において、影響範囲区間の掘削および管体移動は線路閉鎖時間帯に限定されたため、軌道への影響を配慮して JR 高崎線影響範囲手前まで推進工法とし、影響範囲区間をシールド工法に移行した。シールド掘進では、線路が閉鎖される 24:30-4:00 の 3.5 時間で影響範囲内を掘進し、影響範囲の通過後は線路閉鎖時間帯に拘らず掘進を行った。影響範囲区間においては推進工法による施工も可能ではあるが、横断部付近から上部に軟弱地盤を含む当該地盤の土質条件から、推進工完了時まで裏込注入を施工できない推進工法に比べ、セグメント組立直後に裏込注入が可能で、軌道への影響をより抑制できるシールド工法を採用した。

このように工法選定に際しては、シールド工法より経済性で優位な推進工法を基本にしつつも、施工難度の高い部分をシールド工法に移行することで、リスクを回避し、安全性を優先した。



写真-1 A地点：JR高崎線横断部踏切



写真-2 B地点：R=18m急曲線部（2箇所）

4. ハイブリッド掘進機の概要

今回製作した掘進機は推進工法とシールド工法の兼用機であるが、基本形は通常のシールド機である（写真-3）。掘進機の主要諸元を表-3に示す。

このシールド機に推進時の元押し推力を伝達することと推進管を接続することの機能を付加するため、シールド機とは別の単体で、図-3に示す推進リング、調整管、アダプタ管をシールド機のテール部に設置する。写真-4にシールド掘進中の推進管とセグメント接続部の状況を示す。各部の機能は、以下に示すとおりである。

(1) 推進リング

5分割の鋼製セグメントである。推進中のリングの真円度を維持するため、芯出しボルト（M36）を装備している。推進リングはシールドジャッキに接し、推進中の推力をシールド機に伝達する。シールド工法に移行する場合、この推進リングを鋼製セグメントとして利用することが可能である。

(2) 調整管

5分割の鋼製セグメントである。推進リングにボルト



写真-3 ハイブリッド掘進機（全景）

表-3 掘進機主要諸元

シールド本体	
外 径	2,640mm
機 長	4,980mm
テールシール	2段
シールドジャッキ及び中折ジャッキ	
シールドジャッキ	800kN×8
中折ジャッキ	1,200kN×4
カッターヘッド	
掘削外径	2,660mm
回 転 数	2.3r.p.m
トルク	278kN-m
エレクトラ装置	
形 式	リングギア油圧モータ駆動方式
回転数	最大1.5r.p.m

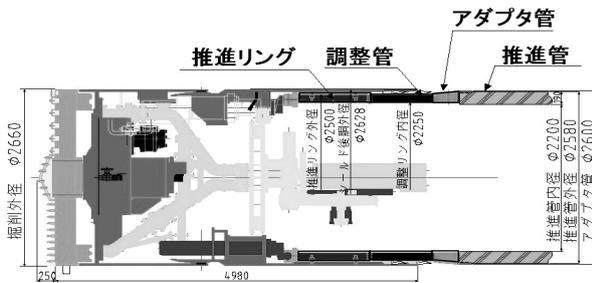


図3 泥水式ハイブリッド掘進機（推進工時）

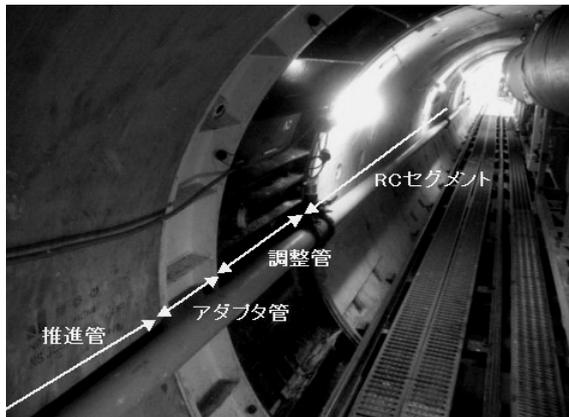


写真4 推進管とセグメント接続部

で固定する。シールド機のテール部分に位置し、アダプタ管を接続する機能をもつ。推進工法からシールド工法に移行した後、地山に残置する。

(3) アダプタ管

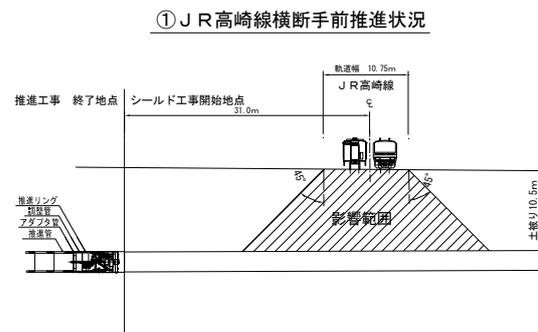
セグメントと推進管の外径差（片側40mm）をテーパ形状のアダプタ管で接続することにより、推進中の地山抵抗の低減を図る。

構造は鋼製のリング状の単体で、調整管にボルト固定され、シールド機のテール部で推進管の差口として機能する。このため、シールド機内に調整管と推進リングを設置した状態で調整管の端部はシールド機のテールブラシをかわした位置にあり、テールブラシの直後にアダプタ管が設置された状態となる。これは推進工法からシールド工法に移行した後、地山に残置するためであり、前後の接続目地の止水性をシールにて確保する。

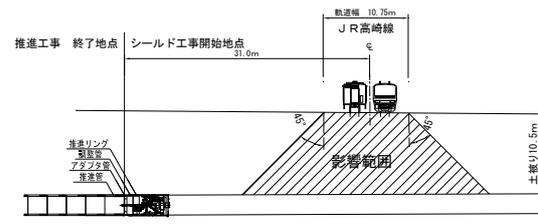
5. ハイブリッド推進工法の施工手順

(1) 高崎線横断部施工手順

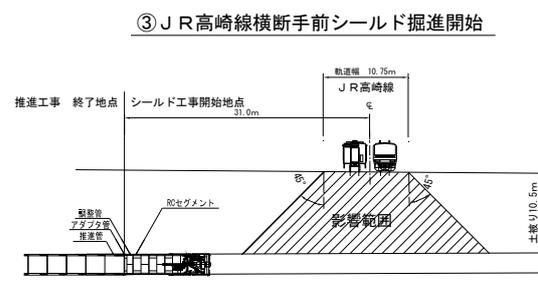
JR 高崎線横断の手前までは、発進時にシールド機内に設置した調整管・推進リング・アダプタ管と共に、推進管を押しながら掘進を行った。この時、シールド機のシールドジャッキは作動させず、方向修正用ジャッキのみ作動させ、推力低減のために滑材を注入し、切羽圧力



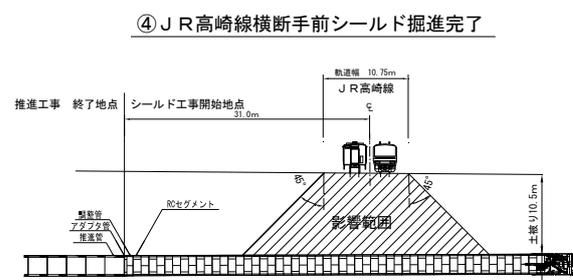
① J R 高崎線横断手前推進状況



② J R 高崎線横断手前推進工事了



③ J R 高崎線横断手前シールド掘進開始



④ J R 高崎線横断手前シールド掘進完了

図4 JR 高崎線横断手順図

管理・掘削土量管理を行いながら掘進した（図-4 ①）。

推進工完了地点まで推進した時点で、シールド設備への段取り替えを行った。段取り替えの内容は、推進元押しジャッキの撤去、立坑作業床、坑内の軌条設備の設置、後続台車の追加設置である。推進リングは1スパンのみの施工の場合には残置することが可能であるが、当該工事では2スパン施工であり、次スパンに転用するために一旦撤去し、そのスペースに RC セグメントを組み立てた。その後、推進管背面部に裏込注入を行った（図-4 ②）。

シールド掘進への段取り替え完了後、推進管部を反力とし、シールドジャッキを使用してシールド掘進を行った。セグメントの搬送は立坑下、坑内の軌条を使用した（図-4③）。

JR 高崎線横断部の影響範囲内では、線路閉鎖時間帯の夜間 3.5 時間のみシールド掘進を行った。通過に 13 日間を要した。事前に既設構造物への影響検討を 2 次元弾性解析にて実施した結果、予測変位量は鉛直方向で 1.0 mm であったが、実際の影響範囲地表面の沈下量は 1.0 mm 以内に収まった（図-4④）。これは警戒値 6mm、工事中止値 10 mm（JR より提示）を十分満足する結果となった。

(2) 急曲線部施工手順

最初の急曲線部（R=18区間）のBC地点手前まで推進した時点で、シールド設備への段取り替えを行った。段取り替えの内容は上記と同様である。

シールド掘進への段取り替え完了後、推進リングと調整管およびアダプタ管は残置し、スチールセグメントの組み立てを行った。急曲線部では、幅300mmのスチールセグメントを使用して、テールクリアランスを確保しながら掘進を進めた。

(3) 推進設備からシールド設備への移行

ハイブリッド推進工の移行フローを図-5 に示す。推進機組立後、推進設備工を行う。以下に、初期掘進からシールド工開始までの設備について述べる。

a) 初期推進～本推進まで

初期推進では、バルブセット、P2 ポンプを立坑下に配置し、その他の後続台車を地上に配置する。後続台車 60m 分の初期推進が完了した時点で、初期推進時に使用した坑内の送排泥・滑材等の配管類、高圧ケーブル、通信線等の電線類を一旦、坑内から撤去する。管内清掃した後、坑内に軌条設備を設置し、立坑下に配置したバルブセット、P2 ポンプおよび地上に配置していた後続設備をクレーンで坑内の軌条に搬入する。搬入後、シールド機から後続台車および後続台車間の配管・配線を行う。この時、推進管のローリング防止のため、後続台車は坑内のセンターに配置し、偏荷重をかけないようにする。

この状態で計画位置まで推進を継続する。なお、本推進中、後続設備以降の坑内設備（軌条・配管等）はシールド施工時の坑内計画断面に合わせて配置し、シールド工に備える。

b) 推進工完了～シールド工開始まで

推進工完了後、シールド機から後続台車間の配管・配線を撤去し、後続台車をシールド時の坑内計画断面位置に配置し、撤去した配管・配線を復旧する。さらに、シールド工で必要となるトランス台車、電線台車、ホースリール台車といった後続台車を追加搬入する。その他、

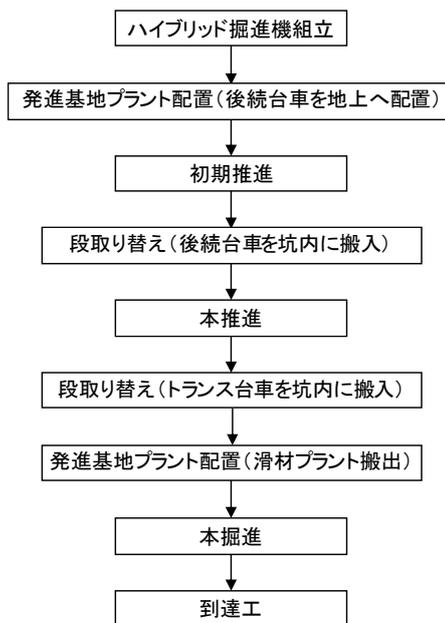


図-5 推進からシールド掘進への移行フロー

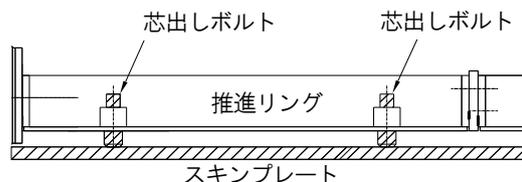


図-6 推進中の推進変形防止対策

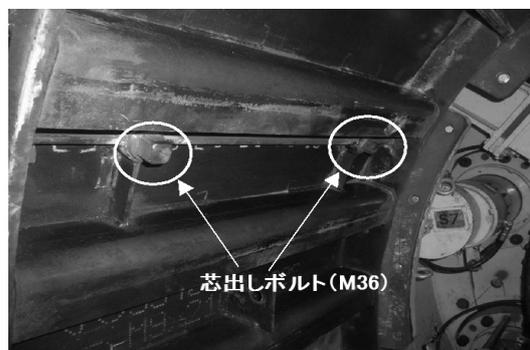


写真-5 芯出しボルト

裏込め注入設備、セグメント搬送用の鋼材を配置する。

6. ハイブリッド推進工法における施工上の工夫

(1) 確実な推力の伝達方法

推進中、元押しジャッキからの推力による推進リングの変形を防止するため、推進リングの各ピースごとに芯出しボルトを設けた（図-6、写真-5）。シールド機の組み立て後、エレクタにて推進リングを組み立て、芯出し

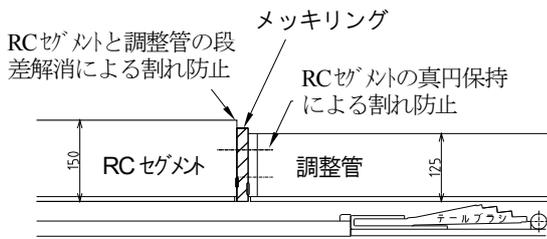


図-7 メッキリングによる割れ防止対策



写真-6 メッキリング

ボルトにて、後胴内の中心にくるように、かつ真円になるように調整した。その結果、推進リングを真円に保持し、シールド機先端に確実に推力を伝達することができた。

(2) RCセグメントの割れ・欠け防止対策

推進管からRCセグメントに移行する時に、RCセグメントと調整管との内径差に起因するセグメントの割れが生じないように、メッキ加工した厚さ20mmのリング状の鋼板をRCセグメントと調整管の間に設置した。また、メッキリングのボルト穴はRCセグメントのボルトピッチに合わせているため、RCセグメントを真円に組むことが可能となった（図-7、写真-6）。

7. 推進工およびシールド掘進工の結果

(1) 推力

a) 1工区における推力の推移

推進部 328m においては、計画推力 7,979 kN に対し、実績最終推力は 5,466kN であった（図-8）。平均周辺抵抗は先端抵抗 1,371kN を差し引き、掘進距離で換算すると 12.6kN/m となり、計画の 62% であった。

シールド部 239m においては、シールド工法への変更により急曲線部 3 箇所を含めてジャッキ推力は概ね 2,000kN 付近で安定的に推移した（図-9）。

b) 2工区における推力の推移

推進部 200m においては、計画推力 5,441kN に対し、

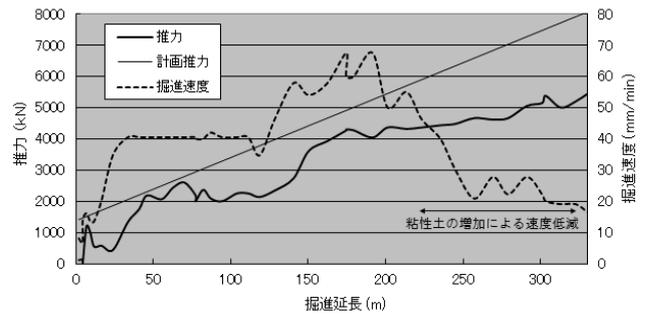


図-8 推力と掘進速度の推移
(1工区 推進部 328m)

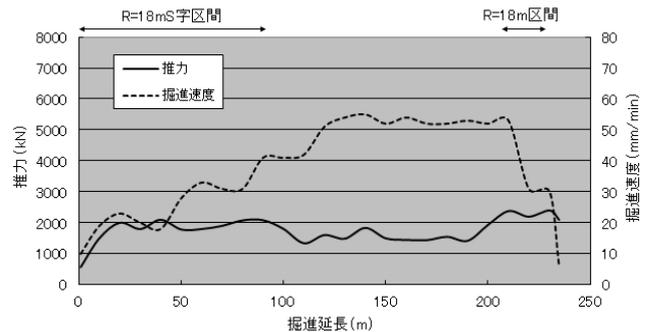


図-9 推力と掘進速度の推移
(1工区 シールド部 239m)

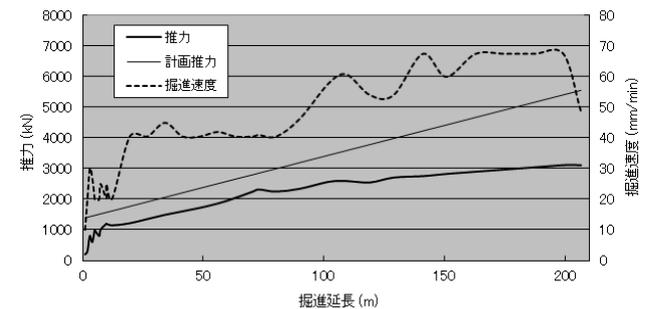


図-10 推力と掘進速度の推移
(2工区 推進部 200m)

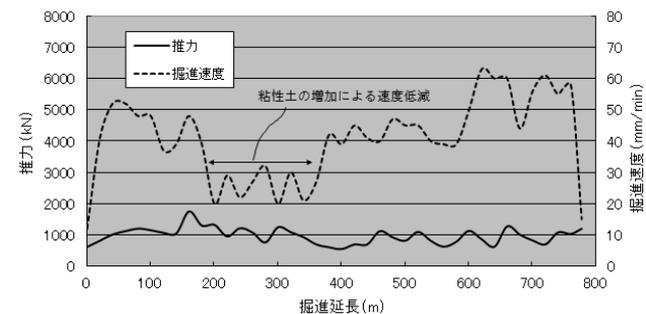


図-11 推力と掘進速度の推移
(2工区 シールド部 782m)

実績最終推力は 3,116kN であった（図-10）。平均周辺抵抗は先端抵抗 1,371kN を差し引き、推進距離で換算すると 8.7kN/m となり、計画の 43% であった。

シールド部 782m においては、1工区と同様、シールド

ド工法への変更によりジャッキ推力は概ね 1,000kN 付近で安定的に推移した (図-11)。

(2) 掘進精度

掘進精度は水平・鉛直とも管理基準値 (± 35 mm) 内であった。セグメントの組立精度については、最大の目違い・目開きが 1.5 mm で、セグメントシールの設計基準である目開き 2 mm、目違い 3 mm 以内であった。真円度は内空の縦横差が最大 4 mm で、内径 2,200 mm に対して 1/550 の高精度を確保した。なお、急曲線部 (R=18m 区間) では、基線測量を 2 リング毎に実施した。

(3) 平均日進量

推進部の平均日進量は 8.5m/日 (片番施工)、シールド部の平均日進量は 4.2m/日 (片番施工換算) であった。推進工はシールド工に比べて約 2 倍の日進量であり、工程面で有利であると言える。

推進部・シールド部ともに、粘性土の占める割合が多い箇所では掘進速度が低下した (図-8, 図-11)。これは、排泥比重の上昇に伴う管内流速の低下を防止するために、掘進を一時中断し、泥水比重の調整作業を行ったためである。

また、急曲線部 (R=18m 区間) では、幅 300 mm のスチールセグメントを使用しており、平均日進量は 1.8m/日

(片番施工換算) であった。急曲線部を有する 1 工区のシールド部においては、急曲線部の平均掘進速度が 22.5 mm/min、直線部での平均掘進速度が 49.1 mm/min であった (図-9)。

8. おわりに

本工事では、基本線形を遵守しつつ、推進工法の経済的な利点を発揮させる一方、施工の安全性や周辺構造物への影響を最小限に留めるための配慮から、推進工法では施工リスクが高いと判断された箇所にシールド工法を採用することとし、そのための事前検討を踏まえた上で、新たな技術的工夫の採用も含めた詳細かつ入念な施工計画を立案し、工事に臨んだ。

その結果、急曲線施工を含む 1 工区および JR 横断を含む 2 工区の双方において、ハイブリッド推進工法の適用で最も注力すべき推進工からシールド工への移行をスムーズに行え、無事施工を完了した。この間、発注者である東京電力株式会社の方々の懇切丁寧なご指導および関係機関各位のご協力を頂戴している。この場を借りて感謝する次第である。

(2013.9.2 受付)

PIPE LINE CONSTRUCTION USING HYBRID PIPE JACKING METHOD IN COMBINATION WITH SHIELD METHOD

Tatuhiko MONGUTI, Hidenori YOSHIDA

As pipe jacking method can be advantageous in terms of construction period and cost by comparison with shield method subject to construction condition, application of pipe jacking method to construction projects increases even under construction condition for which shield method is suitable, such as large diameter, long distance and sharp-curved line etc.

On the other hand, as the longer construction distance, the more sharp-curved line and the smaller radius of curve are associated with a high risk of pipe jacking malfunction, it is important for the application of pipe jacking method to take construction safety and pipe line quality into account. This report introduces a pipe line construction project using hybrid pipe jacking method in combination with shield method, which is based on pipe jacking method and can be switched with shield method from the middle of construction for the construction condition for which pipe jacking method is not suitable.

