泥水式推進工事における JR横断を伴う長距離高速施工

小林 修¹·水澤 陽介²·野水 鉄雄²

¹正会員 戸田建設株式会社 土木工事技術部 (〒104-8388 東京都中央区京橋1-7-1) ²戸田建設株式会社 千葉支店土木部 (〒260-0021 千葉県千葉市中央区新宿1-21-11)

本工事は、仕上り内径1500mm、延長786mの関東農政局両総農業水利事業である農業用水路を泥水式推進 工法にて渇水時期(8月末から3月中旬)内に施工するものであった。推進工事にかけられるのは実質2ヶ 月程度の短期間であるとともに、発進立坑から約600m推進した位置で高架橋となっているJR線の横断, さらにそこから約160m推進した位置で盛土したJR線を横断する線形であり、また到達手前では曲線半径 100mの急曲線施工となる難工事であった。

本稿では本工事で課題となった長距離高速施工および予期せず出現した木片による面板閉塞を解除する ための工夫および施工結果およびJR横断部での掘進管理および施工結果について報告する.

キーワード : 推進工事,長距離,鉄道横断,地盤沈下,層別沈下,面板閉塞

1. はじめに

本工事は,仕上り内径1500mm,延長786mの関東農 政局両総農業水利事業である農業用水路を泥水式推 進工法にて渇水時期(8月末から3月中旬)内に施工 するものである. 発進から約400mがほぼ直線の線形であり、その後 R=400m(CL=100m)の曲線を経て、到達手前約200mで R=100m(CL=60m)の急曲線となる線形である。平均土 被りは約12mであり、掘削対象土は発進から約480m が洪積粘性土(N>50)、その後が軟弱な沖積粘性土 (N=0~2)であった。



図-1 路線平面・縦断図

2. 課題および対策の検討

(1)長距離施工

本推進工法は,推進延長L=786mの長距離推進であ るので,多数の実績がある泥水式推進工法のアルテ ィミット工法を採用した.発進立坑から480mの地層 はN値50以上の堅固なDc層であるので切削された泥 岩での閉塞を防止する目的でスリットに制限バーを 取り付けた.表-1に推進機の仕様を示す.

	名 称	寸 法·規 格	
	掘削外径	1,836mm	
本 体	面板外径	1,81Omm	
	機長	4,115mm	
カッタ	回転数(50HZ)	2.5rpm	
	トルク(50HZ)	251kN•m	
	駆動方式	電動式 22kw/440V×3台	
	開口率	26%	
	ジャッキ	745kN×4本	
方向修正	ストローク	50mm	
	油圧	31Mpa	
	動力	3.7kw×1台	

表-1 推進機仕様



写真-1 泥水式推進機

(2) 木片による面板閉塞

発進立坑から60m掘進を行ったころ(図-2)から, 一次処理土より排出される木片が多くなり,ジャッ キスピードが低下し(10mm/min)(図-3),ジャッキ 推力も1,000kNから2,000kNに上昇した.以上の状況 により木片が推進機面板に噛み込み,面板閉塞をし ているものと考えられた.発進立坑築造時に木片は, 一切出現しておらず想定外であった.

このままのジャッキスピードの進捗では、工期内 に到達ができず、通水時期に用水の確保ができない ため、面板に噛み込んだ木片を除去するべく対策を 講じることにした.





図-3 推進ジャッキスピードの推移

(3) J R線の横断

軟弱な沖積粘性土区間においてJR線を2箇所(高 架部および盛土部)横断するという難工事であった. 推進工事はシールド工事と異なり,一般的には推進 機到達後に裏込め注入を行うため沈下は長期に亘り 生じる可能性がある.近年,500mを超える長距離推 進が施工されているが,沈下予測結果や実際の地山 の沈下挙動についての報告はあまりされていない. 今回,地山の沈下挙動を把握するとともに切羽水圧 の設定等の最適な掘進方法を見出す目的で,JR外房 線(高架橋)の手前に2箇所,JR東金線(盛土)の 手前に1箇所層別沈下計を設置した.

3. 長距離施工の結果について

平成21年12月2日に鏡切断を行い発進した.木片 に遭遇した時は春の通水時期に間に合うか疑問視し たが、木片除去後は、平均ジャッキスピードDc層35 mm/min、Ac層40mm/minで推移し、平成22年1月29 日に無事到達できた.

また,推力は,技術提案で滑材を注入する箇所を 増やした多孔管を1箇所/50mとしていたが,長距離



図-4 推力の推移

推進におけるリスクヘッジを考慮し,現場サイドで 1箇所/25mに変更した.その結果,最大推力は計画 推力の25%,推進管耐荷力の44%である2,480kNで 到達した(図-4).推進耐荷力が計画推力以上であ ったため,中押し設備を使用すること無く終了した. 平均日進量は,実稼働日56日で14m/日となった.

4. 面板閉塞への対策

木片を除去する方法には多数あるが、工期がなく く短期間で除去可能であり、土被りが12mと深く作 用水圧が大きいことからJSG削孔機で推進機面板 全面(離隔0.5m)を削孔し、超高圧ポンプ(20MPa, Q=60L/min)によって水を噴射し、面板を洗浄する 対策を選択した.

表-2に対策工の比較検討の結果を示す.

施工方法	周囲に薬液注 入し、推進機 内部より除去	中間立坑を築 造し、推進機 外部より除去	推進機面板前 方に人工砂 層を造成し、 その中を振し、 し除去する	ボーリングマ シング進た あし、 ジェット水 す す る
適用性	推進機の構造 上面板洗浄困 難	推進停止期間 が長くなり、 通水時期に影 響有り	掘進を止めず に施工可能	用水路内での 施工となり対 応可能
	×	Δ	0	Ø
工事費	Ø	×	Δ	0
評価	Δ	×	0	Ø

表-2 対策工の比較検討

(1)対策エの実施

高圧水による地山の緩みによって推進機が沈下す ることを防ぐ目的でロッドを推進機面板センターま での削孔とした.洗浄サイクルは,面板を回転させ ながら1箇所2分間洗浄した後,ロッドを150mmずつ ステップアップした.ステップアップしマシン天端 まで洗浄した後,再度面板センターまでロッドを下 げ洗浄するサイクルを3回繰り返した(写真-2,3). 洗浄を繰り返すごとに地上に繊維状の木片が多数浮 上し,面板に絡みついている木片が除去されている のが確認できた(写真-4).面板洗浄により高圧洗 浄水で地山を緩めているため,再推進時にマシンの 沈下を防ぐ目的で薬液注入を行った.



写真-2 高圧水による洗浄状況①



写真-3 高圧水による洗浄状況②



写真-4 排出された木片

5. J R線横断への対策

(1) 層別沈下計位置での計測結果

a) 沈下量予測

層別沈下計はA~Cの3箇所で,1箇所につき地 表面(GL=0m),腐植土(Ap)層の中心(GL-1.6m)および 沖積上部砂質土(Asu)層の中心(GL-6m)の3点に設 置した.

層別沈下計設置位置での沈下予測解析は、有限要素法(FEM)による2次元線形弾性解析により行った.解析で使用した土質定数を表-3に示す.また、掘削による開放率はシールドの場合10~30%程度で設定する場合が多いが、推進での設定事例は少なく、また、裏込め注入は推進工事が終了したのちに実施することが一般的であるため、今回は、図-5に示すよう2ケースの強制変位を与えた解析を行った.図-6および図-7に解析結果を示す.

地層	地屋友	Nd	単重γ	ポアソン比	変形係数
区分	地層泊	IN 但	(kN/m^3)	μ	$E~(kN/m^{2})$
第1層	盛土層:Bs	1.7	17.0	0.45	1,100
第2層	腐食土層:Ap	0.9	11.0	0.45	600
第3層	沖積上部砂質土層:Asu	15.5	18.5	0.35	4,300
第4層	沖積下部粘性土層:Acl	1.9	16.0	0.45	1,300
第5層	洪積粘性土層:Dc	71.7	18.2	0.35	43,000

表-3 解析に使用した土質定数



図-5 強制変位の設定ケース

①ケース1

非常に軟弱な粘性土であるため、掘削直後に、推 進機と推進管外径の差(テールボイド)が全体につぶ れる可能性があることを想定し、全周にわたり半径 方向に15mmの強制変位をあたえて沈下量を推定した. テールボイド量 = (推進機外径(1,810mm)





図-6 層別沈下計C位置でのケース1の場合の解析結果

②ケース2

掘削を終えたのち,テールボイド分だけ推進管が 下がり,直上でテールボイドの2倍(30mm)の沈下 が発生する可能性があることを想定し,上部で30mm, 下部で0mmの強制変位を配分して全周にわたり半径 方向にあたえて沈下量を推定した.



図-7 層別沈下計C位置でのケース2の場合の解析結果

解析の結果,ケース1,2ともに掘削対象土であ る軟弱な沖積粘性土Ac1層内で強制変位量の約80%の 沈下が生じ,やや締まった沖積砂質土がカバーロッ クとなりAsu層下部から地表面まで,ほぼ均等に強 制変位量の20%程度の沈下が発生する結果になった.

b) J R 横断への対策

層別沈下計での計測結果を踏まえ,解析値との沈 下量の比較を行い,その結果を踏まえた逆解析を行 い,JR横断部での影響検討を行うとともに,管理 値以内に収まる掘進方法(たとえば切羽水圧を上げ る等)を見出す計画とした(図-8).

c)計測結果

層別沈下計設置位置での沈下モードはA~Cの3 箇所とも同じような結果になったため、ここでは代 表してC位置での計測結果について示す.図-9は、 推進機先端位置と地表面の沈下の傾向を時系列的に 示したものである.地表面の沈下が発生するのは推 進機手前8m程度(これは土被りの約2/3,推進機天 端から約60度の角度)であった.推進機通過地点で 1.5mm程度の沈下が生じた後、沈下が徐々に進行し、 推進機が通過して200m進んだ地点(約2週間後)でほ ぼ収束し、その値は3.1mmで、解析ケース1の結果 とほぼ同じになった.



図-8 JR横断に向けた解析および掘進計画



図-9 掘進機先端位置と地表面沈下量の径時変化

図-10は、推進機先端位置と地表面、腐植土層(Ap 層)の中心および沖積上部砂質土層(Asu層)の中心 位置での各層の沈下量を表したものである.計測結 果では、3点ともほぼ同じ沈下量になっており全体 的に下がっており、この結果も解析の結果とほぼ合 致していることがわかった.

結果的には, 沈下量は解析結果と計測結果がほぼ 同等であったため, 掘進方法に関して特に変更は行 わず掘進を進めることとした.図-11に切羽水圧, 掘進速度, 掘進時推力の推移を示す.



図-10 層別沈下計の各層での沈下量計測結果



(2) J R 横断部での解析および施工結果a) 沈下量予測

層別沈下計C, Bでの解析結果と計測結果がほぼ 同等であったため、JR外房線横断部での沈下量予 測解析は、事前検討モデルに準じて行った.また、 層別沈下計Aでの解析結果と計算結果も同等であっ たため、JR東金線横断部での沈下量予測解析も事 前検討モデルに準じて行った.

① J R 外房線(高架橋)横断部での予測結果

検討断面を図-12に、鉛直方向変位分布を表した ケース1(強制変位量全周15mm)の解析結果を図-13に示す.解析結果から、高架橋基礎杭がある位置 では、影響範囲は左右の杭間であることがわかる. また、基礎杭とトンネルセンターの離れが左右で異 なり、杭から離れている右側のほうが影響範囲が大 きい結果となった.





図-13 JR外房線 鉛直方向変位分布図 (ケース1の場合)

予測沈下量は、Asu層下端でケース1が約4mm、ケ ース2が約6mm、Asu層上端でケース1が約2mm、ケ ース2が約4mmとなった.地表面沈下量は、ケース 1が1.4mm、ケース2が2.8mmとなったが、橋脚に関 してはいずれのケースでも0~0.1mmでありほとんど 影響がないことがわかる.

なお,高架橋構造であるJR外房線の管理値は, 「近接工事設計施工マニュアル」¹⁾を参考に発注者 との協議も行い,**表-4**のとおり定めた.

	表-4	IR外房線	(高架橋)	の管理値
--	-----	-------	-------	------

管理区分	工事中止値	限界値
垂直(沈下・隆起)	± 3 mm	±5 mm

②JR東金線(盛土)横断部での予測結果

検討断面を図-14に、鉛直方向変位分布を表した ケース1(強制変位量全周15mm)の解析結果を図-15に示す.解析結果から、軌道面の絶対沈下量はト ンネル直上が最大で、ケース1が3.0mm、ケース2 が4.6mmになったが、1mm以上の沈下が発生する影響 範囲が、ケース1で25m、ケース2で28mとなり、 その沈下勾配は図-16に示すとおり、もっとも大き くなるケース2であっても0.3/1,000radであり、一 次管理値0.76/1,000radの約40%になった.



図-15 JR東金線 鉛直方向変位分布図 (ケース1の場合)



図-16 軌道部沈下分布の解析結果

なお,盛土構造であるJR東金線の管理値は, 「近接工事設計施工マニュアル」¹⁾をもとに 「85km/h以上の線区」の値の整備基準値を参考に表 -5のとおり定めた.

表-5 JR東金線(盛土)の管理値

佐田豆八	1次管理値	2次管理值	3次管理值
官理区方	(警戒値)	(工事中止値)	(限界値)
沈下量	\pm 3.8mm	± 6.65 mm	± 19 mm
勾配	0.76/1,000rad	1.33/1,000rad	3.8/1,000rad

b) 計測結果

① J R 外房線(高架橋) 部での計測結果

計測は、写真-5および図-17に示すように4本の 高架橋柱部にターゲットを設置し、トータルステー ションによる自動計測を行った.横断時の計測頻度 は15分ごとに設定した.



図-18に計測結果を示すが,解析結果と同様,推 進機通過時および通過後において高架橋には影響は 見られなかった.



図-18 掘進機先端位置と高架橋柱部沈下量の径時変化

② J R 東金線(盛土)部での計測結果

計測は,写真-6および図-19に示すように軌道部 両脇およびトンネル両脇の4箇所に水盛式沈下計を 設置し,自動計測を行った.



図-19 JR東金線 計測器設置平面図

図-20に測点3,4の計測結果を示す.推進機先端 が約17m手前(これは17.4mの土被りとほぼ等しい) に差し掛かったところから沈下の影響が見られ,手 前約10mの地点で1.7mmまで沈下が生じ,その数値 がほぼ最終の沈下量となった.この数値はケース1 の解析結果の約57%,一次管理値の45%であった.

JR東金線横断日において層別沈下計位置と横断 部位置で沈下が発生する時期および沈下量が異なる のは、以下の理由であると考えられる.

・管防護用のカルバートが東金線横断部に17mの 長さで敷設されているが、2次元でのFEM解析



図-20 掘進機先端位置と盛土部沈下量の径時変化

ではカルバート延長方向の剛性の適切な評価が できないため,解析結果の沈下量は実際よりも 大きく出る可能性がある.

 ・測点1,2の沈下の発生(推進機がその直下に 差し掛かった時点)と同時期に測点3,4の沈 下も発生し始めている.これもカルバートが影
響し,沈下の発生時期が遅れたためと考える.

6. まとめ

沈下量()

推進・シールド工事等で想定外の地層に遭遇し順 調に掘進ができなくなることは多々ある.その都度 各現場条件に合った様々な対策方法を考え実施して いるのが実情であるが、今回は、対策検討会から対 策実施まで非常に短期間に行え、工期的なロスも少 なくてすんだ一例であり、非常に有効な対策事例で あったといえる.

また,JR線横断に関しては,予測結果と計測結 果を比較したところ,層別沈下計を設置した3箇所 では,テールボイド分が全周つぶれた場合の解析ケ ースと計測結果がほぼ合致した.また通過時点の変 位は最終の約50%であり,沈下は土被りの約2/3(約 60°の角度)に推進機が到達した時点から発生する こともわかった.沈下が問題となるのは今回のよう な軟弱な土質であるため,今後,このような土質に おいて推進工事を行う場合,今回の予測手法および 実績が参考になれば幸いである.

参考文献

1) 東日本旅客鉄道株式会社,近接工事設計施工マニュ アル,2008年7月

2) 財団法人 鉄道総合技術研究所,都市部鉄道構造物の 近接施工対策マニュアル,平成19年1月