都心部での非開削切拡げ工法における 施工時挙動再現に関する解析手法による差違について

第一工業大学 学生会員 〇神野 佑大 第一工業大学 正会員 岩波 基

1. はじめに

首都圏の都市部において,首都高速道および外郭環状道路の大 泉JCTと東名JCTの間に非開削切拡げ工法の採用が計画され ている.しかし,設計の詳細から施工時の計測データが公表され ている事例は少ない.そのようななかで,東京地下鉄(株)の副 都心線において雑司が谷駅と西早稲田駅の中間点付近に構築され たポンプ室の工事では計画・設計から計測までのデータが公開さ れている.そこで,曲線パイプルーフを用いて,非開削で切り拡



げる工法を採用した当該工事の施工段階を考慮した2次元FEMと3次元FEM解析を行い,計測値と比較し, 解析手法によって計測データとの差違について考察を加えたものである.

2. 施工概要

ポンプ室近傍のシールドトンネルは、鋼製セグメントで構築されており、セグメント外形はφ6,600mm、セ グメント厚さは 270mm、リング幅は一般部と同じ 1,600mm である.上下の曲線パイプルーフを 1.2m ピッチで 挿入し、シールドトンネル内に H-250×250 による変形防止鋼材を曲線パイプルーフと同じ 1.2m ピッチで設置 した.ポンプ室の掘削は4回に分けて行った.1次掘削で上半を掘削後、上床版を打設し、上床版と曲線パイ

プルーフの間は高流動コンクリートを打設した.2次掘削以降,ポン プ室を逆巻きで打設し,4次掘削で下パイプルーフまで掘削を行った. 地下水圧は被圧され掘削底版で約0.32MPaであった.掘削時の湧水の 発生が懸念されたため,ディープウェル工法とウェルポイント工法を 併用し,地下水位をシールド下端まで下げた.

3. 解析概要

(1) 解析方針

FEM解析によって計測結果に近い挙動の再現を試みる. なお, 一 般にリバウンドが生じる地盤では, 地盤の変形係数を3倍に大きくす ることで実挙動再現できると知られているので, 3倍と6倍で解析を 行った. また, シールドトンネル完成時に計測を開始したため, 解析 ステップも case4 以外はシールド掘削完了時から解析を行った. 2次 元FEMを用いたものを case1, 3次元FEMで変形係数を3倍にし

たものを case2, 静止土圧係数を 0.05 にしたものを case3, そして, case2 でトンネル掘削時の1 リングことの掘削ステップ再現したもの を case4 とする. なお, 今回の解析には Soil+Static を使用した.

(2) 解析条件

表-1~4 に地盤,曲線パイプルーフ,変形防止鋼材,ばねの物性値 キーワード シールドトンネル 非開削工法 曲線パイプルーフ

連絡先 〒899-4332 鹿児島県霧島市国分中央 1-10-2 第一工業大学自然環境工学科 TEL 0995-45-0640

表-1 地盤の物性

		粘性土	砂質土	砂質土	砂質土
		(Kac1)	(Kas1)	(Kas1)*	(Kas1)**
単位体積重量 γ	(kN/m^3)	17	18		
変形係数 E	(kN/m^2)	54,400	75,300	225,900	451,800
ポアソン比 <i>v</i>		0.35	0.35		
粘着力 C	(kN/m^2)	260	0		
内部摩擦角	(°)	0	42		

表-2 曲線パイプルーフの物性値

	1本あたり	
ヤング係数E	(kN/m^2)	5.500×10^{7}
断面積A	(m ²)	6.229×10^{-2}
断面二次モーメントI	(m ⁴)	3.707×10^{-4}

表-3 変形防止鋼材の物性値

		1本あたり
鋼材		$H-250 \times 250$
ヤング係数E	(kN/m^2)	2.1×10^{8}
ポアソン比 <i>v</i>		0.3
断面積A	(m ²)	9.143×10^{-3}
断面二次モーメントI	(m ⁴)	1.070×10^{-4}

表-4 ばねの物性値

	Kac1	Kas1	
軸圧縮方向ばね定数	(kN/m)	1.0×10^{6}	
せん断方向ばね定数	(kN/m)	19584	27108
粘着力 C	(kN/m^2)	260	0
内部摩擦角	(°)	0	42

をそれぞれ示す.曲線パイプルーフは,挿入後に鋼管内を中詰めコンクリートで充填したため,鋼管とコン クリートの合成構造とした物性値を使用した.地盤の物性値は,リバウンドが生じると考えられる掘削以深を kas1*, kas1**とし,土質試験から求めた地盤の変形係数の値を3倍,6倍にして使用した.曲線パイプルーフ

と地盤をつなぐばね要素は、引張方向には抵抗させず、圧縮方向には 微小な変位しか生じさせないような表-4の剛なばねとした.

(3) 解析モデル

図-2は2次元解析モデルの全体図である.解析領域は横方向にポン プ室の幅の約10倍の100m,鉛直方向は,上方領域に全土被りの約33m, 下方領域にシールドトンネル外径の約3倍の22mとした.境界条件は, 側面では面直行軸方向,下端では全方向を拘束した.図-3は3次元解 析モデルの全体図で図-2を奥行き方向に100m伸ばしたものである. 地盤とポンプ室躯体,および吹付けコンクリートをソリッド要素で評 価し,セグメントの主桁と曲線パイプルーフ,変形防止鋼材をはり要素でモデ ル化した.セグメントのスキンプレートは板要素で表現した.

(4) 解析段階

解析は、実際の施工手順に合わせて仮設支保工設置、4次に分けた掘削と本体の逆巻き構築の順に行った.なお、今回は全ての施工段階で、応力解放率は100%とした.

4. 計測値と解析値の比較

計測値と4つの case の解析値を比較する.着目する施工段 階は,上半1次掘削時を step1,上半2次掘削時を step2,上 半3次掘削時を step3,下半掘削時を step4 とする.

図-4 は曲線パイプルーフと変形防止鋼材における軸力と曲 げモーメントの計測値と解析値の比較を表したものである.

上側曲線パイプルーフでは、軸力の計測値に比べ case1~3 の解析値が大きく上回る結果となったが, case4 ではほぼ解析 値と計測値が同程度になった.しかし, step1 で3次元の解析 値が計測値より小さくなった.曲げモーメントについては, 2次元解析では解析値が計測値より大きく,3次元解析では 解析値が小さい結果となった.

下側曲線パイプルーフ,変形防止鋼材の鉛直材 1 と水平材 の解析値は全て,計測値より大きな値となった.

5. まとめ

今回の解析結果より、トンネル掘削の施工段階を考慮する ことで、地盤からの掘削解放力は現実の挙動に近い解析結果 が算出出来る可能性があると思われる.しかし、セグメント と仮設支保工の外力を分担する割合を現実に近づけることで、 実挙動を再現できるものと考えられる.

今後,実挙動を再現するためには,セグメントの有効物性 値,変形防止鋼材等の有効物性値そして両者の接合剛性を検 討する予定である.









防止鋼材)