

## 非開削切り拡げ工法の設計方法における 適正な 2 次元 FEM 解析モデルに関する考察

早稲田大学 学生会員 ○二宮 優太  
早稲田大学 正会員 岩波 基  
熊谷組 正会員 山口 哲司

### 1. はじめに

シールドトンネルからの切り拡げ技術は都心部の地下空間に新たなトンネル社会資本の構築やリニューアルにおいて期待されているが、図 1 の工事で計測を行ったところ設計値と計測値が大きく異なる結果となったため現行の設計方法に課題があることが判明した。そこで、筆者らは 3 次元効果で掘削解放力を考慮することによりセグメントについては解析結果が実測値と比較的一致することを明らかにした。そこで、本報告では仮設部材である曲線パイプルーフや補強支保工の挙動を実際の動きに近づけるため、2 次元 FEM 解析の解析条件を検討したものである。

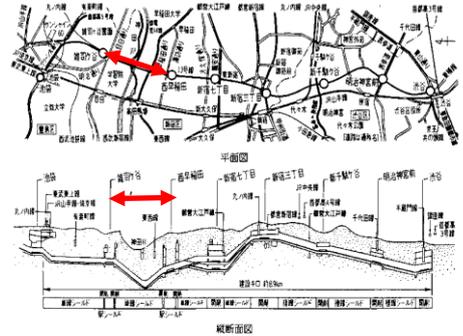


図 1 東京メトロ副都心線平面・縦断面

### 2. 研究の概要

#### (1) 工事概要

当該工事は、東京メトロ 13 号線における雑司ヶ谷駅～西早稲田駅間において単線シールドトンネルの間に曲線パイプルーフによる非開削工法で切り拡げた空間に中間ポンプ室を構築したものである。

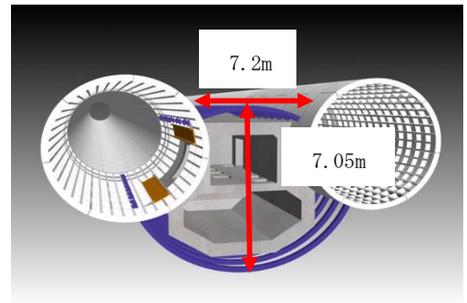


図 2 中間ポンプ室の構造概要

#### (2) 構造概要

中間ポンプ室は、躯体幅 7.2m、高さ 7.05m、軸方向の延長 9.4m で 2 層構造である。その上部はトンネル部と連結する内空高さ 2.6m の機械室で、下部は内空高さ 2.7m の排水ピットである。図 2 に中間ポンプ室の構造概要図を示す。

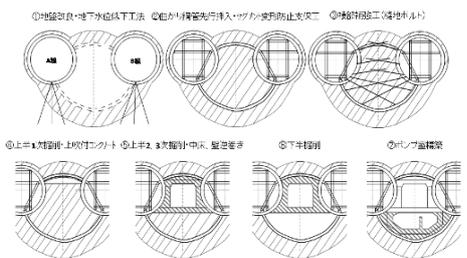


図 3 中間ポンプ室施工順序図

#### (3) 施工手順

中間ポンプ室の掘削においては、施工の安全性と設計の合理化を目的として三分割の逆巻き施工が採用されている。図 3 に中間ポンプ室の施工順序図を示す。

#### (4) 施工条件

ポンプ室の上半は上総層粘性土層、ポンプ室の下半は上総層砂質土となっている。土被りは約 30.7m、地下水位はディープウェルによって掘削底盤以下にして施工を行った。

表 1 地山の物性値

		上総層粘性土 (KacI)	上総層砂質土 (KasI')
単位体積重量 $\gamma$	kN/m <sup>3</sup>	17	18
変形係数 E	kN/m <sup>2</sup>	54,400	238,500
ポアソン比 $\nu$		0.3	0.3
粘着力 C	kN/m <sup>2</sup>	260	0
内部摩擦角	°	0	42

### 3. 解析概要

#### (1) 解析方針

2 次元 FEM 解析によって曲線パイプルーフと仮設支保工の挙動を解析により再現することを試みる。一般的にリバウンドが生じる地盤では変形係数を大きくすると解析値が計測値に一致することが経験的に知られている。そこで、掘削以深地盤の変形係数を 3 倍にするケースを実施することとした。また、掘削面と接しているセグメントに各掘削後において水平方向の解放力が発生していることを想定した。さらに、コンク

リートを打設する際に生じる打設圧を考慮することとした。

(2) 解析条件

表 1, 2 に地山と変形防止鋼材の物性値を示す。地山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' とし, 土質試験から求めた地盤の変形係数を 3 倍にして採用した。また, 解析では地盤は弾性とし, 変形防止鋼材の物性値は, 縦断方向の建込方向ピッチを考慮し, 1 本あたりの物性値を 1m あたりに換算した値を使用する。

(3) 解析モデル

図 4 に本解析で用いるモデルのトンネル部を抜き出して示す。解析は全土被りを考慮し水平方向に掘削幅の約 4 倍, 下方向にトンネル径の 2 倍を解析領域として, 境界条件は左右端が X 方向で固定, Y 方向で自由として, 下端が X, Y 方向で固定とした。地山とポンプ室躯体と吹付コンクリートは平面ひずみ要素で評価し, セグメントと曲線パイプルーフと変形防止鋼材を梁要素でモデル化した。

(4) 解析段階

図 5 に解析ステップを示す。実際の施工ステップに合わせて解析ステップを設定した。

4. 解析結果

上側曲線パイプルーフ, 下側曲線パイプルーフ, 内側鉛直材, 斜材の軸力の実測値と解析値の比較を図 6~9 に示す。着目する施工段階は図 5 の赤枠に示す通りである。

(1) 曲線パイプルーフ

上側曲線パイプルーフの軸力はどの施工段階においても解析値が実測値とほぼ一致した。下側曲線パイプルーフの軸力は上半 2 次掘削以降, 実測値を大きく上回り解析値と一致しなかった。

(2) 変形防止鋼材

内側鉛直材は解析値と実測値の傾向が一致していた。斜材は上半掘削時において解析値と実測値がほぼ一致していたが下半掘削時において実測値の約 3 倍となる軸圧縮力が発生しており値に大きな差を生じた。

5. 結論

- ・コンクリートの側圧を考慮し, コンクリートを打設する際に生じる打設圧を考慮した解析結果は上側曲線パイプルーフと変形防止鋼材が実測値と比較的よく一致した。
- ・今後は, この条件に加え 3 次元効果を考慮した掘削解放力を詳細に検討して実挙動を実測値に近づける研究を進める予定である。

6. 参考文献

・岩波基, 西村高明, 大石敬司, 梶山雅生: 都心部での非開削切り掘削施工時の挙動に関する研究, トンネル工学論文集, 第 19 巻, pp87-98, 2009, 11.

キーワード 非開削切り掘削工法, 曲線パイプルーフ, 変形防止鋼材

連絡先 〒169-8555 東京都新宿区大久保 3-4-1 西早稲田キャンパス 51 号館 1608 室 TEL03-5286-3402

表 2 変形防止鋼材の物性値

	1 本あたり	1m あたり
変形係数 (kN/m <sup>2</sup> )	2.1×10 <sup>8</sup>	
ポアソン比 ν	0.3	
断面積 A (m <sup>2</sup> )	9.143×10 <sup>-3</sup>	7.619×10 <sup>-3</sup>
断面係数 Z (m <sup>3</sup> )	8.6×10 <sup>-4</sup>	8.917×10 <sup>-5</sup>
断面二次モーメント I (m <sup>4</sup> )	1.07×10 <sup>-4</sup>	7.167×10 <sup>-4</sup>

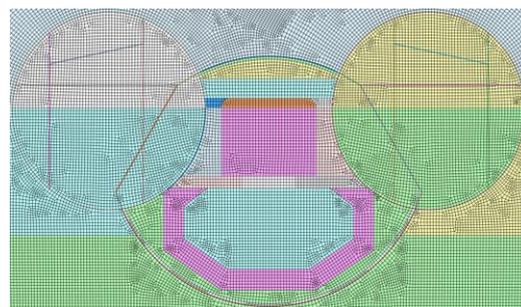


図 4 解析モデルのトンネル部の概念図

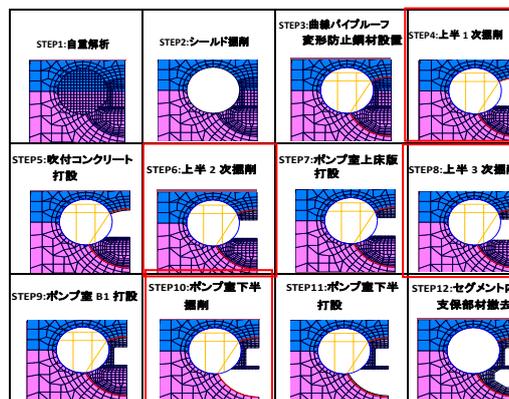


図 5 解析ステップ図

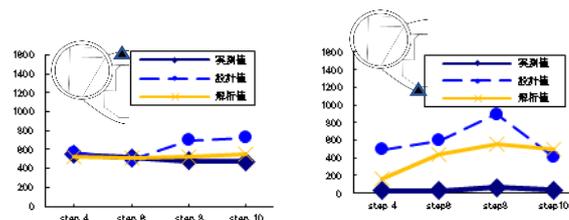


図 6 上側曲線パイプルーフ 図 7 下側曲線パイプルーフ

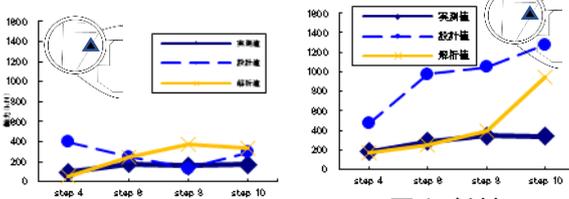


図 8 内側鉛直材

図 9 斜材