

非開削切り掘り工法の設計方法における 妥当な FEM 解析モデルに関する一考察(その 1)

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行う切り掘り技術とは、都市部の路上交通や浅深部の地中埋設物の直下に地下空間を構築することが地上からの開削工事を行うことが困難な場所におけるプロジェクトにて採用されており、地下構造物にネットワークを構築するために重要なものである。しかし、設計方法が確立されておらず個々の事業者で独自に検討している。また、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、本報告では今までに得た知見を反映させることで、2 次元 FEM 解析におけるセグメント以外の解析値が実測値に一致する解析条件を検討したものである。

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掘った空間に中間ポンプ室を構築したものである。

(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。

(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 である。

3. 解析概要

(1) 解析方針

2 次元 FEM 解析によって挙動を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た

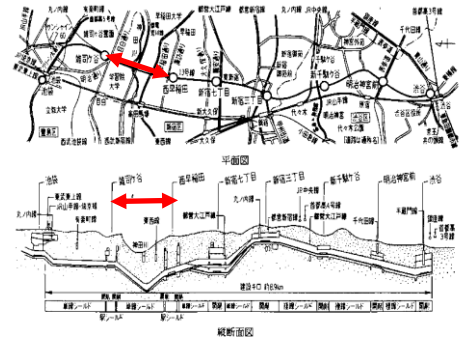


図 1 東京メトロ副都心線平面・縦断面図

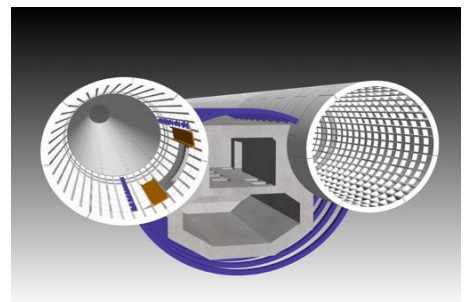


図 2 中間ポンプ室の構造概要

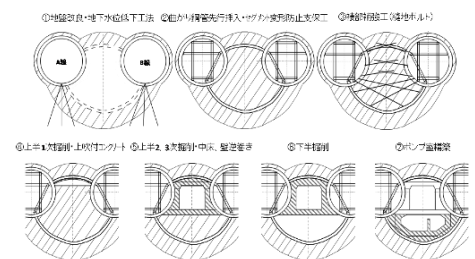


図 3 中間ポンプ室施工順序図

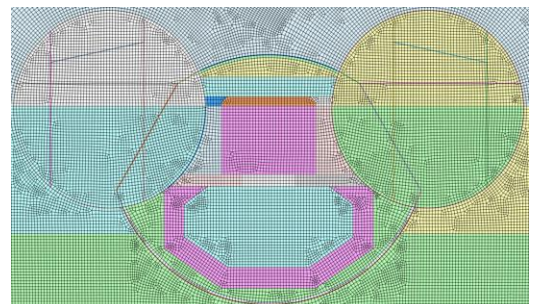


図 4 解析モデルのトンネル部の概念図

め、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、コンクリートを打設する際に生じる打設圧を考慮や、各掘削時に下側曲線パイプルーフの下方からの解放力に3次元効果で低減の考慮も行った。以上の条件を組み合わせての表1の8解析ケースを実施した。赤枠で示したのが case5, case7, case8 における組み合わせである。

表1 解析ケース

	下地盤剛性	変形防止鋼材の剛性	下側解放力	セグメントに生じる横解放力	コンクリート側圧
case1	1倍	低下無し	下半掘削時のみ	無視	無視
case2	3倍	低下無し	下半掘削時のみ	無視	無視
case3	6倍	低下無し	下半掘削時のみ	無視	無視
case4	3倍	低下考慮	下半掘削時のみ	無視	無視
case5	3倍	低下無し	各掘削時	無視	無視
case6	3倍	低下無し	各掘削時	考慮	無視
case7	3倍	低下無し	下半掘削時のみ	考慮	考慮
case8	3倍	低下無し	各掘削時	考慮	考慮

(2) 解析条件

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 k_{asl} とし、土質試験から求めた地盤の変形係数を3倍にした。

(3) 解析モデル

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に合わせて解析ステップを設定して、上半の1次掘削では掘削解放力における3次元効果を考慮して23%低減させた解放力を作用させた。下半の掘削では、同様に掘削解放力を75%低減させた。

4. 解析結果

比較的部材の挙動が再現できた case5, case7 および、この両者の考慮を合わせて実施した case8 の上側曲線パイプルーフ、セグメント 240°、270°の軸力の実測値と解析値の比較を図6～8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。case5においてはセグメントが最も実測値に近づく結果となった。一方、case7においては上側曲線パイプルーフの解析値が最も実測値に近づく結果となった。しかし、両者を考慮した case8 においてはどちらの場合においても実測値と一致しなかった。

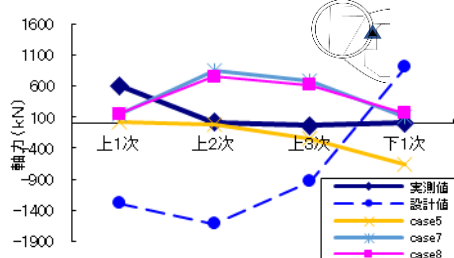


図7 セグメント(240°)

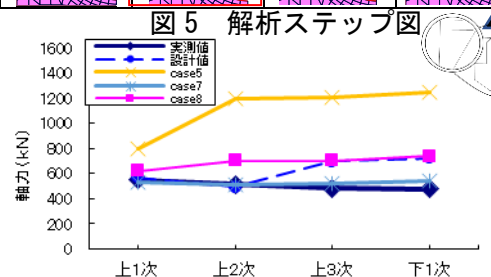


図5 解析ステップ図

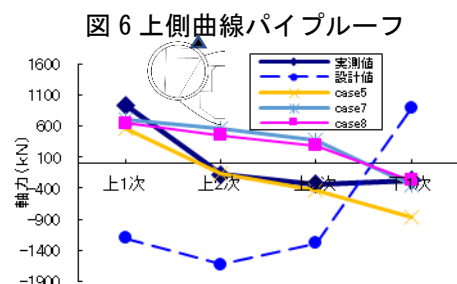


図8 セグメント(270°)

5. 結論

本報告で得た解析結果は下側曲線パイプルーフと斜材が実測値と比較的によく一致し、特に、case5においてはセグメントが、case7においては上側曲線パイプルーフが実測値と比較的によく一致した。しかし、二つの解析条件を合わせた case8 においては解析結果が両立しなかったため、今後は、3次元 FEM 解析を実施することで支保工材、曲線パイプルーフ、セグメントの精度向上が両立する解析条件の検討をおこなう予定である。

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 シールドトンネル 設計

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