

## 非開削切り拡げ工法の設計方法における構造設計用 2次元 FEM 解析モデルの構築に関する一考察

早稲田大学 学生会員 ○稗田拓也  
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

非開削切り拡げ工法は既設のシールドトンネルから外部を非開削で拡幅することで新たに地下空間を構築できる技術である。そのため、路上の交通量が多く、地下部にすでに多数のライフラインが存在する都市部の地下空間の拡幅を行う際に、本工法は期待されている。しかし、設計方法が未確立であり、検証が不十分なまま多くの工事で活用されている。本研究の対象である図1の東京メトロ13号線雑司が谷駅～西早稲田駅間に中間ポンプ室を構築した工事でも設計値と計測値の間に大きな差が生じており、支保工やシールドトンネルなどの設計方法の見直しが必要である。そこで、筆者らは切り拡げ工事時の支保工やシールドトンネルの挙動を2次元 FEM 解析モデルで再現することを試みる。

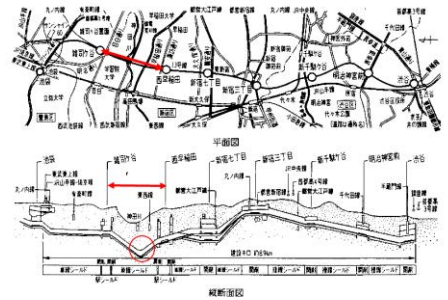


図1 東京メトロ副都心線平面・縦断図

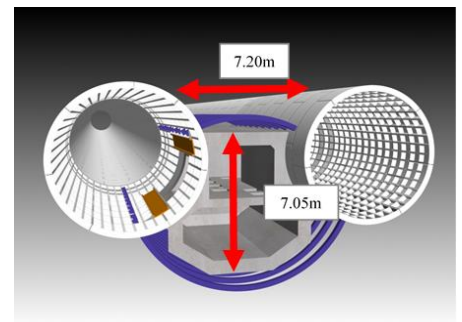


図2 中間ポンプ室の構造概要

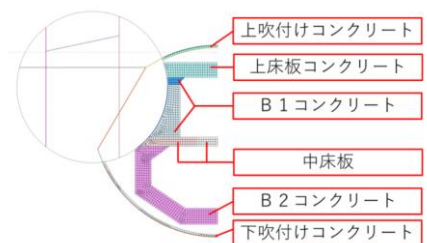


図3 解析モデル図(ポンプ室)

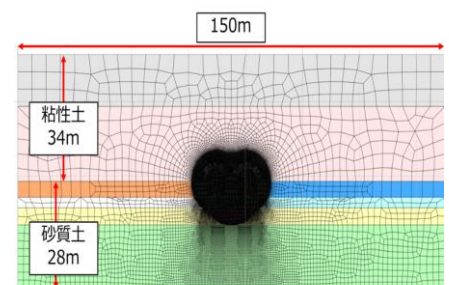


図4 2次元解析モデル図(全体図)

### 2. 研究の概要

#### (1) 工事概要

当該工事は、図1に示した東京メトロ13号線の雑司が谷駅～西早稲田駅間の中間ポンプ室を、単線並列のシールドトンネル内部から非開削切り拡げ工法により施工したものである。

#### (2) 構造概要

中間ポンプ室は2層構造から成り、躯体幅7.2m、高さ7.05m、奥行き9.4mである。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4分割の逆巻き施工が採用されている。

#### (4) 施工条件

ポンプ室の上半は上総層粘性土層(Kacl)、下半は上総層砂質土(Kasl)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

昨年度より筆者らは2次元 FEM 解析によってセグメント、曲線パイプルーブおよび変形防止鋼材の挙動を再現することを試みる。ポンプ室施工時のコンクリート打設圧や掘削時の3次元効果を考慮した掘削解放率の設定を行った。

#### (2) 解析条件

地盤の物性値は、リバウンドを生じると考えられる上総層砂質土では、土質試験から求めた地盤の変形係数を3倍にした値を用いる。

また、吹付コンクリート、ポンプ室躯体の構築コンクリートの物性値は公称値、セグメントと H 型鋼の物性値は、設計に用いた値を使用する。また、フレッシュコンクリートの側圧が一般的に解析上反映されていないことに着目した。そのため構造条件、コンクリート条件および施工条件に応じたコンクリート打設圧を側圧として作用させた。また、3次元効果を考慮するために上半一次掘削時に掘削解放率を適用した。上吹付けコンクリート打設の前後で掘削を 40%と 60%に分担した。数値的な根拠については論文「非開削切り掘削工法の設計構造解析における適切な 3次元 FEM 解析モデルに関する研究」を参考にした。

### (3) 解析モデル

図 3 にモデル内のセグメントリング、支保工材、ポンプ室躯体の A 線側のみ示す。また、図 4 に今回使用した 2次元解析モデル図を示す。解析領域は、トンネル掘削の影響を考慮した。また、境界条件は左右端を X 方向で固定、Y 方向で自由とし、下端は X、Y 方向で固定した。地山、ポンプ室躯体、吹付け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は梁要素でモデル化した。

### (4) 解析ステップ

解析は実際の施工手順に合わせて、計 28 ステップで設定した。解析ステップを図 5 に示す。上半一次掘削では掘削解放力における 3次元効果を考慮し、60%低減させた解放力を作用させた。また、ポンプ室のコンクリート打設におけるコンクリート圧を荷重として打設後に作用させた。

## 4. 解析結果

解析結果を図 6～8 に示す。セグメント、曲線パイプルーフおよび変形防止鋼材の結果のうち 3 点を示した。解析ケースについては case1 では掘削解放率のみを適用した場合、case2 では打設圧のみを作用させた場合、case3 では両方を設定した場合である。図 6 に上側曲線パイプルーフ、図 7 に斜材、図 8 にセグメントポンプ室側 (240°) の軸力の結果を示す。上側曲線パイプルーフでは case3 で解析値が実測値に概ね一致した。また、斜材をはじめとした仮設補強材は解析値が実測値に概ね一致した。開口部周辺のセグメントポンプ室側では、解析値と実測値の間で大きく乖離が生じた。これは開口部周辺の構造が複雑なためと考えられる。

## 5. 結論

多くの部材で case3 では解析値が実測値に近づき挙動の再現ができた。そのため、本報告の解析条件の適用は有効であるといえる。しかし、ポンプ室側のセグメントでは解析値と実測値で大きく乖離が見られた。今後、開口部周辺の細かい構造を Moleman による「はりばねモデル」によって詳細に検討していく。

## 6. 参考文献

- 1) 荻野竹敏, 松村泰, 本村高志, 梶山雅生: 地下鉄 13 号線 (副都心線) 中間ポンプ室 (その 2) (Pss-Arch 工法の計測結果のまとめ), 第 62 回年次学術講演会公演概要集, 6-102, 2007.

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 号室 tel.03-5286-3402

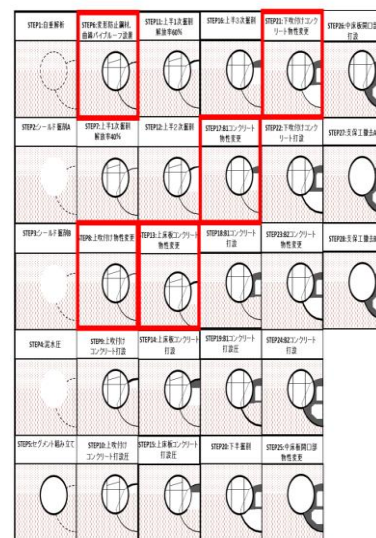


図 5 解析ステップ図

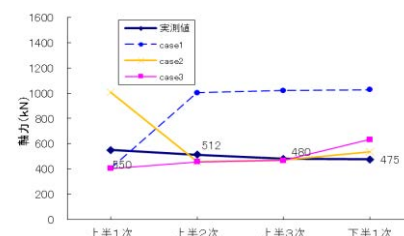


図 6 上側曲線パイプルーフ

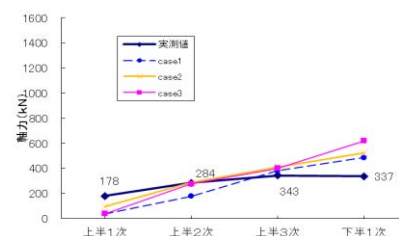


図 7 斜材

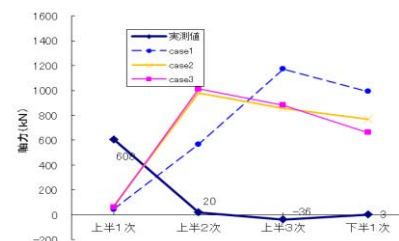


図 8 セグメント 240°