

非開削切り拡げ工法の設計構造解析における 3次元 FEM 解析モデルの構築に関する一考察（その 2）

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の覆工を開口しトンネル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、当工法は期待されている。しかし、設計方法が確立されておらず、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 3 次元 FEM 解析で再現することを試みる。

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から非開削切り拡げ工法により構築したものである。

(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三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、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

昨年度より筆者らは 3 次元 FEM 解析によってセグメント、曲線パイプルーフおよび変形防止鋼材の挙動を再現することを試みる。昨年度までの研究では、鋼管とセグメントリングの力の伝達や開口部の影響をうまく表現しきれなかった。考察その 1 で鋼管とセグメントリングの力の伝達に着目したが、本報告では、解析による精度をより高めるために、開口部の影響に着目して解析条件の修正を行った。



図 1 東京メトロ副都心線平面・縦断面図

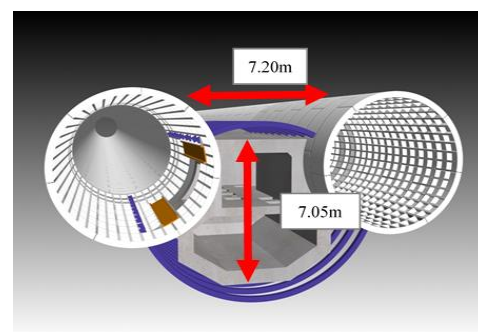


図 2 中間ポンプ室の構造概要

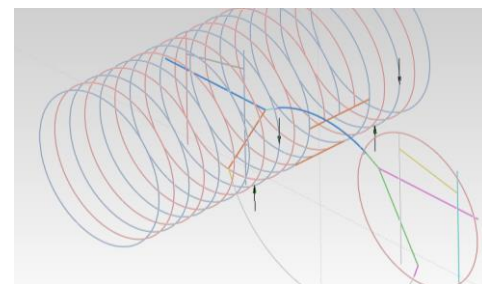


図 3 計測位置荷重図

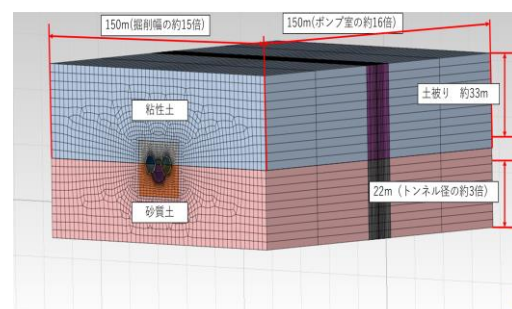


図 4 3次元解析モデル図（全体）

(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倍にした値を用いた。また、吹付コンクリート、ポンプ室躯体の物性値は一般的な値、セグメントの物性値は、設計に用いた物性値を使用する。また、セグメントスクリンレート厚さは、主桁の物性値に含まれているため実際の9mmではなく0.01mmとした。変形防止鋼材のH型鋼の値はH-250の公称値を使用した。また、シールドトンネルから開口部を設ける際に、リング方向に発生する軸力を受けるI字型の開口部補強受梁桁部材を上下に5リング分の長さで作用させた。また、セグメントプレートに開口部を設ける過程で取り外したセグメントリングの3リングに軸力それぞれ約500kNが作用していた。そこで、今回は計測位置のセグメントリングおよび開口部を軸に計測位置と対称位置に上下計4箇所のセグメントリングに750kNずつ加えた。図3に俯瞰図を示す。

(3) 解析モデル

図4は今回使用した3次元解析モデルを示したものである。解析領域は、トンネル掘削の影響を考慮し、水平方向は掘削幅の15倍の150m、ポンプ上方向はセグメント天端から鉛直上向きに30m、鉛直下方向は掘削幅の3倍とした。また、境界条件は下端でX、Y、Zの3方向で固定し、正面は直角方向で固定、側面は面の垂直方向で固定する。モデルを構成する要素数は約25万となった。

(4) 解析ステップ

解析は実際の施工手順に合わせて、全33ステップで設定した。解析ステップを図5に示す。なお、解析の煩雑さと解析に要する時間を短縮するため、シールド掘削において開放率を用いて解析を2ステップに分けて表現した。そのため、シールド掘削後のステップで掘削開放力を10%作用させ、セグメント組み立て後に残りの90%の掘削開放力作用させるようにした。

4. 解析結果

本報告で得られたセグメント（ $240^{\circ} \sim 315^{\circ}$ ）の軸力の結果を図6～8に示す。開口部周辺のセグメント（ $240^{\circ} \sim 315^{\circ}$ ）では、解析値と実測値の間でやや乖離が生じたが改善傾向となった。

5. 結論

本報告の3次元モデルから得た解析結果のうち開口部周辺のセグメント（ $240^{\circ} \sim 315^{\circ}$ ）の軸力の解析値は改善傾向となった。しかし、依然として実測値とはやや乖離が見られる。今後、開口部周辺の細かい構造を詳細に検討していく必要がある。

6. 参考文献

・岩波基，西村高明，大石敬司，梶山雅生：都市部での非開削切り掘り施工時の挙動に関する研究，トンネル工學論文集，第19巻，pp87-89，2009，11。

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 西早稻田キャンパス 51号館 1608号室 tel. 03-5286-3402

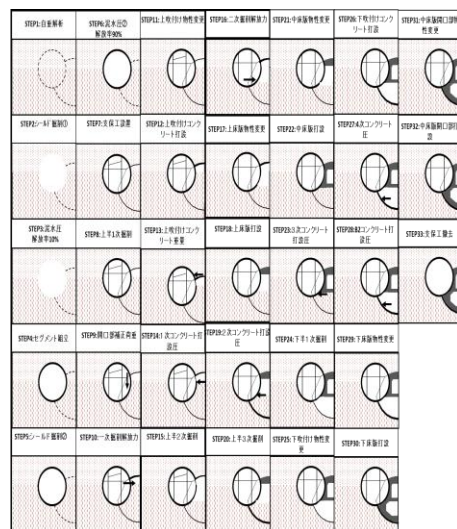


図5 解析ステップ図

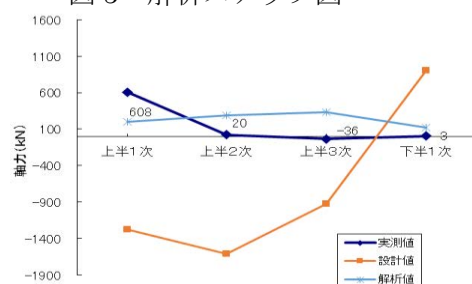


図6 セグメント 240°

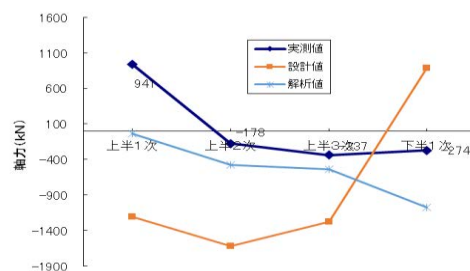


図7 セグメント 270°

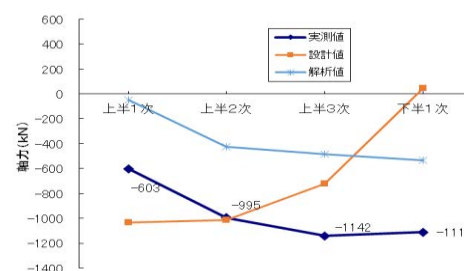


図8 セグメント 315°