

非開削切り拡げ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 2）

早稲田大学 学生会員 ○森田遼太郎
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存の地下インフラから新たな地下空間を構築することのできる技術である。それゆえ、地上部は交通量が激しく、地下部には大型埋設物がすでに存在する都市部の地下空間の拡幅において、本工法の使用が期待されている。しかし、その設計方法の検証が不十分なまま多くのプロジェクトで採用されている。本研究で対象とする工事でも設計値と計測値の間に大きな差が生じたため、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と考えられる。そこで、筆者らは切り拡げ工事における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ている。

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～西早稲田駅間であり、単線並列シールドトンネルの間に曲線パイプルーフを用いて中間ポンプ室を非開削で切り拡げた空間に構築したものである。

(2) 構造概要

図 2 の中間ポンプ室は、躯体幅 7.2m、高さ 7.05m、軸方向の延長 9.4m の 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、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、地下水はディープウェルにより掘削底盤以下である。

3. 解析概要

(1) 解析方針

セグメント、曲線パイプルーフおよび変形防止鋼材における計測結果を解析で再現することを試みる。筆者らは 2 次元 FEM 解析モデルによりセグメント、曲線パイプルーフおよび変形防止鋼材の計測応力度を再現することを試みたが、一致しない部位があった。そこで、本報告では、解析による精度を高めるために、トンネル掘削、ポンプ室部掘削、ポンプ室部のコンクリート打設までの施工手順を再現した 3 次元



図 1 東京メトロ副都心線平面・縦断面図

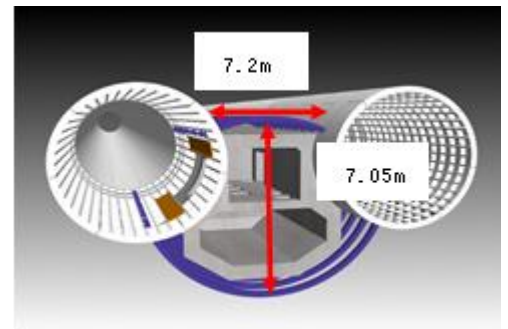


図 2 中間ポンプ室の構造概要

表 1 セグメントの物性値

	1リングあたり
単位体積重量 γ (kN/m^3)	2.1×10^8
ポアソン比 ν	0.2
断面積 A (m^2)	2.533×10^{-2}
断面二次モーメント I (m^4)	1.982×10^{-4}
厚さ t (mm)	0.01

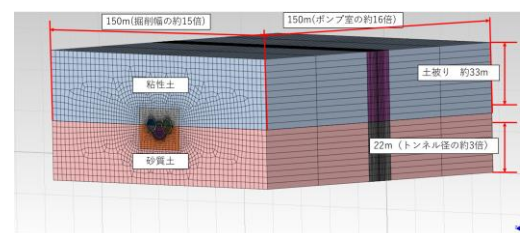


図 3 解析モデル図（全体）

FEM 解析モデルを用いて解析を実施した。

(2) 解析条件

表 1,2 に解析において設定したセグメントと地山の物性値を示す。地山の物性値はリバウンドを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 倍にした値を採用した。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の 3 本主桁分をセグメント幅 1.6m ごとの 3 次元はりの値とした。また、セグメントスキンプレート厚さは、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 形鋼の値は H-250×250 の公称値を使用した。

(3) 解析モデル

図 3 は今回使用した 3 次元解析モデルを示したものである。また、全体図では表記できないため図 4 でポンプ室とトンネルを取り出して示す。解析領域は、水平方向はシールド掘削幅の 15 倍、ポンプ上方向はセグメント天端から鉛直上向きに 30m、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 方向を拘束し、側面では面に垂直の方向のみ拘束する。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、上半の掘削、上床版の打設、側壁の打設、下半掘削などの解析ステップを設定した計 25 ステップで構成される。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 3 つのステップで表現した。そのためシールド掘削後のステップで掘削解放力を 10%作用させ、セグメント組立後に残りの 90%の掘削開放力作用させるようにした。

4. 解析結果

本報告で得られた上側曲線パイプルーフ、セグメント 240°、270° の軸力の結果を図 5~7 に示す。上側曲線パイプルーフにおいては上半 1 次掘削で解析値と実測値の間で乖離が生じたが概ね一致し

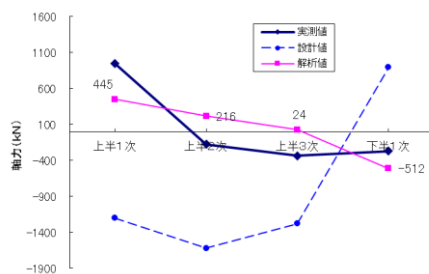


図 6 セグメント (240°)

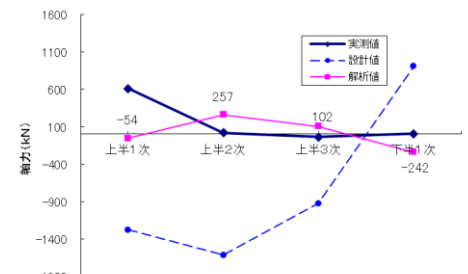


図 7 セグメント (270°)

た。セグメント 240°、270° の軸力は変動挙動を再現しており、解析値と実測値の間で大きな差はなかった。

5. 結論

本報告の 3 次元モデルから得た解析結果のうち下側曲線パイプルーフ、支保工材、セグメント (0° ~180°) の値は比較的一致した。また、その他の部材においても解析値が実測値から大きく外れることもなかった。このことから、3 次元モデルの使用によつての支保工材、曲線パイプルーフ、セグメント全体として解析精度向上を行うことができた。

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, pp87-89, 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 西早稲田キャンパス 51 号館 1608 号室 tel.03-5286-3402

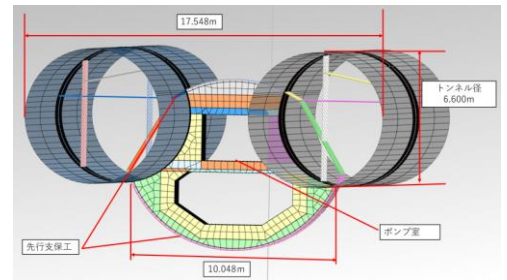


図 4 解析モデル図 (ポンプ室周辺)

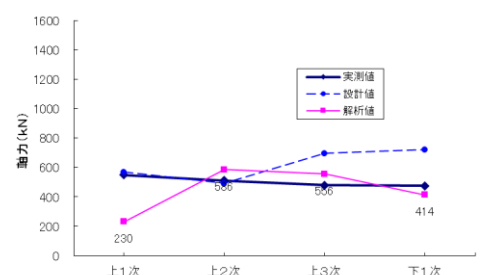


図 5 上側曲線パイプルーフ