

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 1）

早稲田大学
熊谷組
東日本旅客鉄道株式会社
早稲田大学

学生会員
正会員
正会員
正会員

○森田遼太郎
山口哲司
松本拓未
岩波基

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構造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。当該対象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、本研究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 解析で再現するものである。

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 9.4 m 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、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。昨年度より筆者らは 3 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、鋼管とセグメントリングの力の伝達および開口部周辺の力の分担をうまく表現しきれなかった。本



図 1 東京メトロ副都心線平面・縦断図

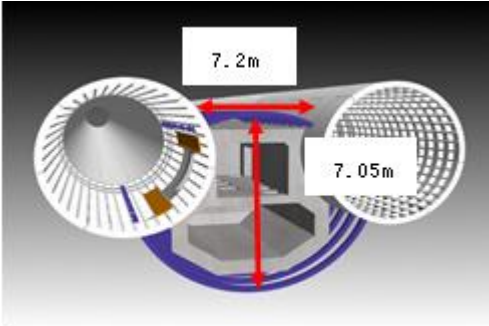


図 2 中間ポンプ室の構造概要

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

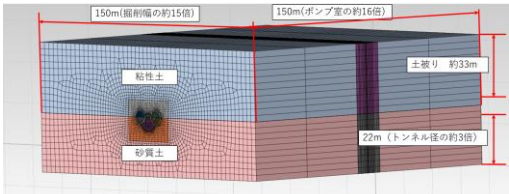


図 3 解析モデル図（全体）

報告では、解析による精度を高めるために、鋼管とセグメントリングの力の伝達に着目して解析条件の修正を行った。

(2) 解析条件

表1に解析で用いたセグメントと地山の物性値を示す。掘削によって掘削によって応力解放が主に生じる k_{as1} 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。さらに、セグメントスキンプレーットの剛性は主桁の物性値として解析上考慮しているために、厚さを実際の9mmではなく0.01mmとして解析を行った。変形防止鋼材のH型鋼の値はH-250×250の公称値を使用した。また、昨年度よりトンネル奥行き方向にずれのあるセグメントと曲線パイプルーフの間で力の伝達が行われていないと考えられていた。そのためセグメントと上鋼管パイプルーフをI型鋼の連結材を用いて、梁要素の端部をそれぞれ固定した。連結材の物性値はH型鋼と同様にした。

(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。

4. 解析結果

本報告で得られた上側曲線パイプルーフ、斜材の軸力の結果を図6～7に示す。連結材の周囲にある上側曲線パイプルーフや斜材では上半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仮設補強材や曲線パイプルーフ、セグメント(0°～180°)の値は比較的一致した。他の部材の解析精度を低下させることなく連結材周囲の部材の値が向上したこのことから、連結材の導入によっての上側曲線パイプルーフとセグメントリングで応力分担を再現できたと考えられる。一方で、未だ開口部近傍の実挙動は再現しきれていない。今後、開口部近傍は解放力に着目し精度向上を試みる予定である。

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

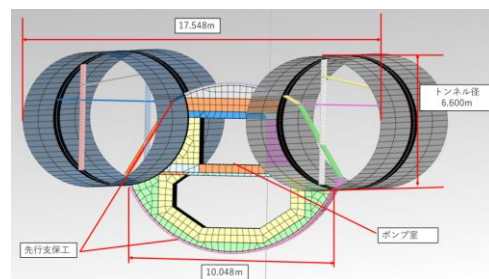


図4 解析モデル図(ポンプ室周辺)

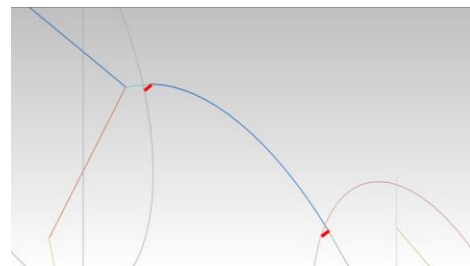


図5 I型連結材

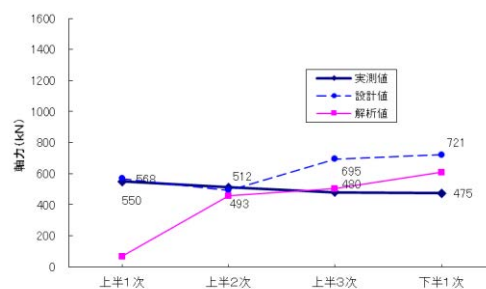


図6 上側曲線パイプルーフ

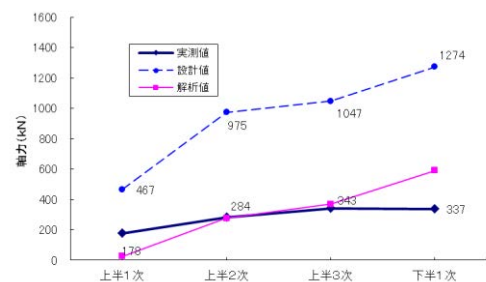


図7 斜材