

連続体モデルによる SENS 覆工挙動の解析

地盤工学研究室 畑下創紀
指導教員 杉本光隆

1. はじめに

SENS によって掘削されたトンネルでは、未固結な一次覆工コンクリート中の内型枠がシールド機から離れるに従って浮き上がる現象が確認されている。これは、内型枠が未固結な一次覆工コンクリートによる浮力によって、上方に剛体変位したためと考えられる。さらに、一次覆工は内型枠が浮き上がった状態で打設圧力を受けながら硬化した後に、地山からの有効土圧を受ける。この有効土圧は、内型枠挙動や地山状況によって変化すると考えられることから、一次覆工や内型枠を設計する上で、基本的である作用土水圧を推定するためには、三次元的かつ逐次的に変化する地盤、一次覆工コンクリートと内型枠の相互作用を表現できる解析モデルが必要である。

既往の研究では、トンネル覆工の解析手法として、はりばねモデルを用いて、SENS の施工過程を考慮した 3 次元逐次解析手法を開発し、実トンネルの現場計測データを用いて同手法の妥当性を確認している。さらに、そのはりばねモデルを拡張し、地盤を要素化した連続体モデルが開発された。このモデルにより、はりばねモデルでは表現できなかった地盤や地表面の影響の表現が可能になった。

そこで本研究では、連続体モデルによる SENS 覆工挙動の解析を行い、解析結果と SENS 工法を用いた現場の実測データを比較することにより、解析モデルの妥当性を検討する。

2. 解析モデル

2.1 解析モデル概要

本解析モデルは、3 次元ソリッド要素でモデル化した地盤の中央付近に、図-1 に示すような覆工を設置し、掘削面と覆工を界面要素で連

結したモデルである。さらに、内型枠と一次覆工を一体としたシェル要素、内型枠のリング間継手を軸方向ばねとせん断ばね、内型枠間継手を回転ばねで表現した。覆工に直接作用させる荷重は、先端のシェルヘジャッキ力、コンクリート液体区間でコンクリート打設圧、固体区間で水圧である。

2.2 逐次解析

図-2 は逐次解析概要である。本解析では 32 リングの逐次解析を行った。SENS 特有の施工過程を表現するために、逐次解析は以下の特徴を有する。

- 1) 解析ステップ毎にトンネル先端へ内型枠を追加し、荷重やばねを前方にシフトさせることでトンネルの掘進を表現する。
- 2) コンクリート未固結区間では内型枠と地盤へコンクリート打設圧を作用させ、コンクリート固結区間では水圧を作用させる。
- 3) 一次覆工が硬化したリングでは、内型枠と一次覆工の合成梁として剛性を増加させ、内型枠脱型後は剛性を低下させる。

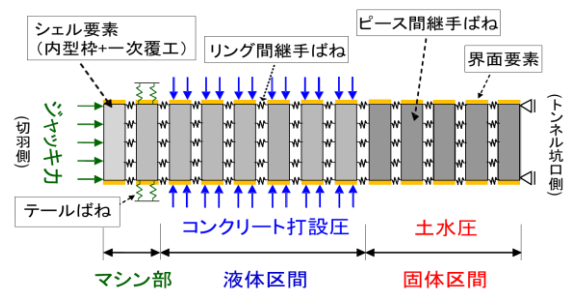


図-1 解析モデル概要図

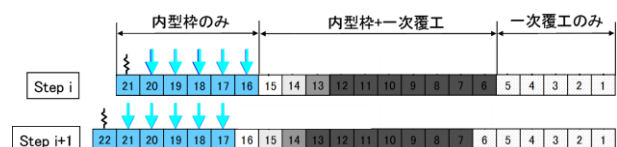


図-2 逐次解析概要

2.3 解析条件

本解析対象断面は西谷トンネルにおける地盤変位の発生しやすい土被り 6.11m の小土被り区間とした。地下水位は地表面とほぼ同じ水位，地質構造は上総層群の粘性土 ($\gamma=19.0\text{kN/m}^3$) および埋戻し土 ($\gamma=18.1\text{kN/m}^3$) から構成されている。解析領域はトンネル下方 3D，トンネル水平に 5D に設定した。

3. 解析結果

図-3 にトンネルの変位分布を示す。なお，変位は接点変位を 100 倍して表示している。この図より，未固結な一次覆工コンクリートの浮力により，内型枠は上方へ剛体変位することがわかる。

図-4 にトンネル直上の地表面変位計測値と解析値を示す。解析値は全体的に隆起傾向にあり，この傾向は計測値と一致している。さらに，テール通過以降で隆起傾向が顕著に見られる。これは，テール部でのコンクリート打設圧による影響と考えられる。

図-5 にトンネル水平方向変位計測値と解析値の比較を示す。計測値はトンネル内側に変位しているのに対し，解析値ではテール通過時にトンネル外側に変位し，傾向が一致しなかった。解析値の外側変位は，一次覆工打設圧が静止土圧より大きく地山の押し抜けが発生したためである。計測値の内側変位は，本解析では，静止土圧係数 0.5，地盤の初期変位 0 として解析を行ったが，実現場では静止土圧係数が大きく，地盤初期変位が発生していたため等が考えられる。

4. まとめ

SENS の施工過程を考慮した 3 次元連続体モデルを用いて解析を実施した。その結果，浮力により内型枠が上方へ剛体変位することを確認した。地盤の鉛直変位は計測値と解析値で同じ挙動を示したが，水平変位は前章に述べた理由により同じ挙動が得られなかった。

参考文献

- 1) 玉井達毅他：シールドを用いた場所打ち支保システムの時系列三次元逐次解析手法による内型枠挙動の解明，土木学会論文集 F1, Vol.70, No.3, I-17 - I-28, 2014.

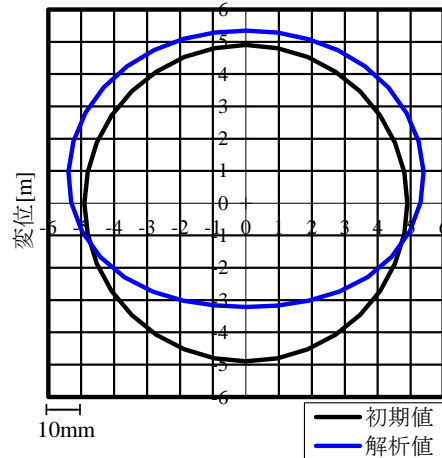


図-3 トンネル変位分布 (テール脱出 12R 後)

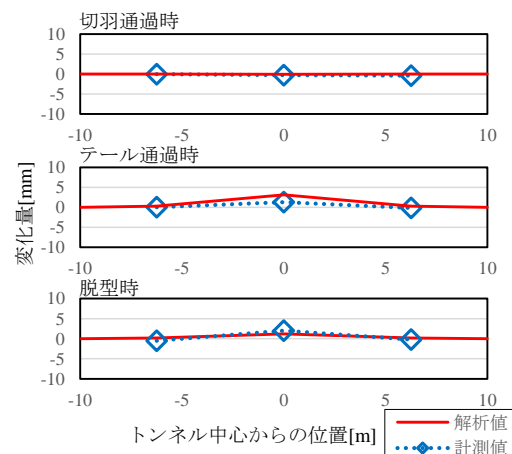


図-4 地表面鉛直変位比較 (+ : 隆起)

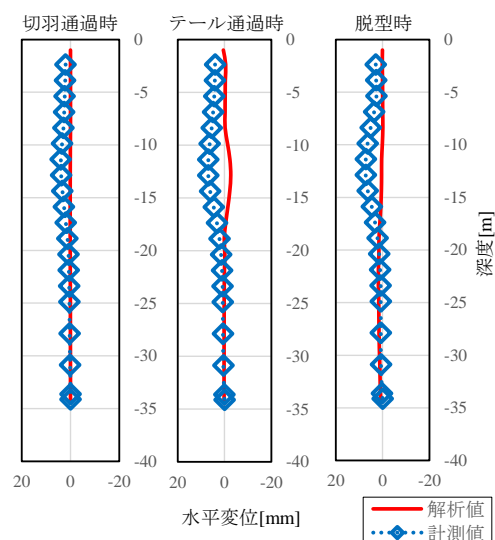


図-5 水平変位比較 (+ : トンネル内側)