

3次元連続体モデルによる SENS 周辺地盤の挙動予測

地盤工学研究室 尾崎 祥太郎

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三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た¹⁾。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を開発し²⁾、岡野らは、このモデルにより、トンネル周辺の地盤挙動解析を行い、現場計測値と比較し、解析モデルの妥当性を確認した³⁾。

そこで本研究では、適用事例を増やすことにより、解析手法の汎用性を確認することを目的として、対象断面における SENS 覆工挙動、トンネル周辺地盤挙動を三次元連続体モデルによって事前解析し、施工管理の基礎となる知見を得るとともに、将来、現場計測値を用いて実現場での再現性を評価する。

2. 解析モデル

2.1 解析モデル概要

本解析モデルの概要図を図-1 に示す。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。さらに、掘削面と覆工を界面要素で連結した。シールド機は、切羽に切羽圧を作用させることで表現し、マシン覆工に直接作用する荷重は、覆工の切羽側端部にジャッキ力、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

逐次解析の概要を図-2 に示す。SENS 特有の施工過程を表現するために、以下の特徴を有する逐次解析を実施した。

- 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、マシンを前方にシフトし、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。

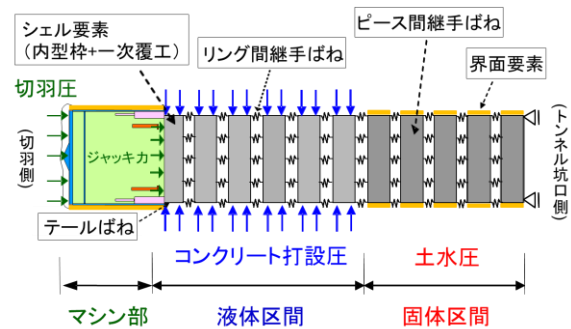


図-1 解析モデルの概要図

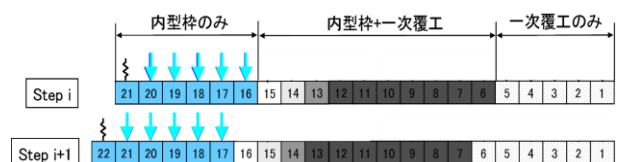


図-2 逐次解析概要

2.3 解析ケース

本解析対象断面は、羊蹄トンネルで地盤変位が発生しやすい土被り 6.1m の小土被り区間とした。

地質構造は盛土 ($\gamma=16.0\text{kN/m}^3$), 火山灰-I ($\gamma=19.0\text{kN/m}^3$) および火山灰-II ($\gamma=19.0\text{kN/m}^3$) から構成されている。

本検討で用いるコンクリート打設圧 (以後, 上限値, 下限値と呼ぶ) は, 現場の管理値を参考に設定した (表-1)。

3. 解析結果

図-3 に上限値でのトンネル変位分布を示す。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 に上限値, 下限値での地表面変位の解析値を示す。解析値は全体的に隆起傾向にあり, テール通過後に下限値より上限値の方が, 隆起が 1.2mm 程度大きくなった。これは, 浮力による地山の押し上げが発生したためと考えられる。

図-5 に下限値で初期変位 0mm, トンネル内側へ 5mm としたときの地表面変位の解析値を示す。テール通過以降, 初期変位 0mm の方が, 隆起が大きくなることわかる。

図-6 に上限値で初期変位 0mm と下限値でトンネル内側へ初期変位 5mm における地表面変位の解析値を示す。解析の結果, この解析条件では隆起量の最大, 最小は 13.2mm, 8.9mm となることわかった。

4. まとめ

本研究では, 三次元連続体モデルを用いて解析を実施し, 施工条件であるコンクリート打設圧, 余掘りやコンクリート充填率により定まる初期変位が周辺地盤に及ぼす影響を確認した。

【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.
- 2) 中田早紀, 杉本光隆: SENS 工法によって構築されたトンネル周辺の地盤変位解析, 長岡技術科学大学大学院修士論文, 2017.
- 3) 岡野良, 杉本光隆: SENS 工法によるトンネル

周辺地盤挙動の解析, 長岡技術科学大学大学院修士論文, 2019.

表-1 設定コンクリート打設圧

	コンクリート打設圧 (kPa)	
	シールド天端	シールド下端
解析①(上限値)	98	363
解析②(下限値)	68	333

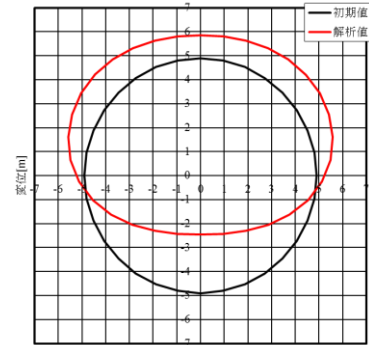


図-3 トンネル変位分布 (テール脱出 12R 後)

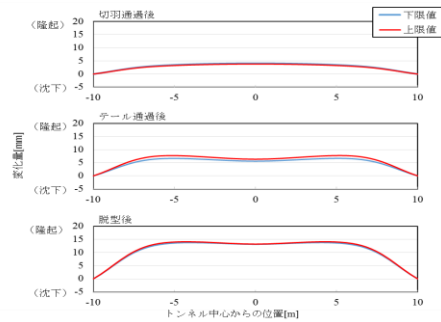


図-4 地表面鉛直変位 (上限値, 下限値)

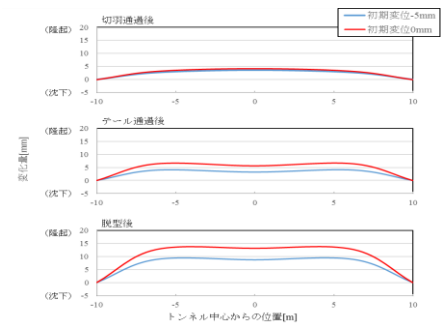


図-5 地表面鉛直変位

(下限値: 初期変位 0, -5mm)

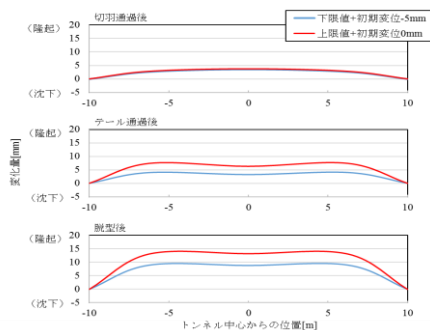


図-6 地表面鉛直変位 (上限値+初期変位 0mm, 下限値+初期変位-5mm)