

3次元連続体モデルによる SENS 周辺地盤の挙動予測

長岡技術科学大学 学 ○芳野 弘基, 尾崎 祥太郎 正 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、三次元連続体モデルで SENS 周辺地盤の事前解析を行い、設計コンクリート打設圧や初期変位の施工条件での解析を行うことで、地表面変位の予測を行い、さらに、将来、現場実測データ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。覆工に直接作用する荷重は、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。また、シールド機をモデル化し、切羽に切羽圧を作用させ、SENS 周辺地盤挙動をより正確に表現した。

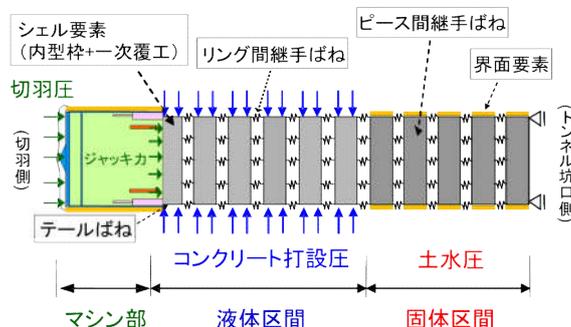


図-1 解析モデルの概要図

2.2 逐次解析

図-2 に逐次解析の概要を示す。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、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。

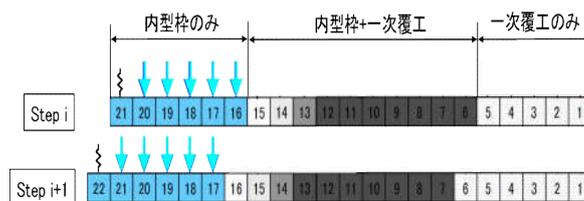


図-2 逐次解析概要

2.3 解析ケース

本解析対象断面は、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。地質構造は図-3 に示す。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-4 に上限値でのトンネル変位分布を示す。なお、変位は節点変位を 100 倍して表示している。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-5 に地表面変位の解析値を示す。

a) 上限値・下限値では、全体的に隆起傾向を示し、テール通過時に隆起傾向に差がみられた。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。

b) 下限値で初期変位 0mm，トンネル内側へ 5mm としたときでは、テール通過以降で隆起傾向が顕著に表れている。

c) 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 とした場合では、初期変位を導入していない打設圧上限値と導入した場合の下限値では、隆起傾向に大きな差が表れている。

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

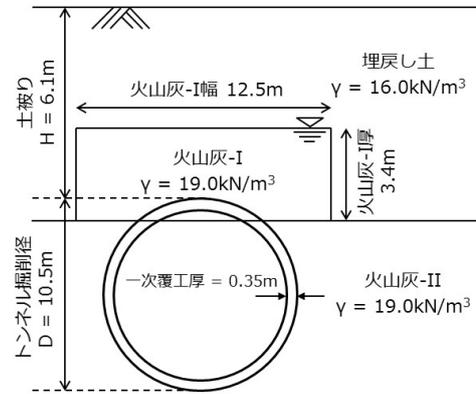


図-3 解析対象断面の地質構造

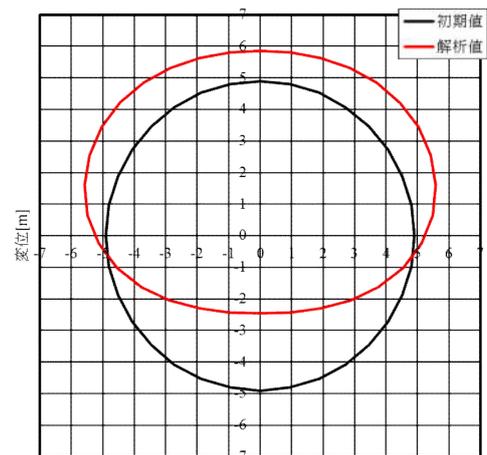
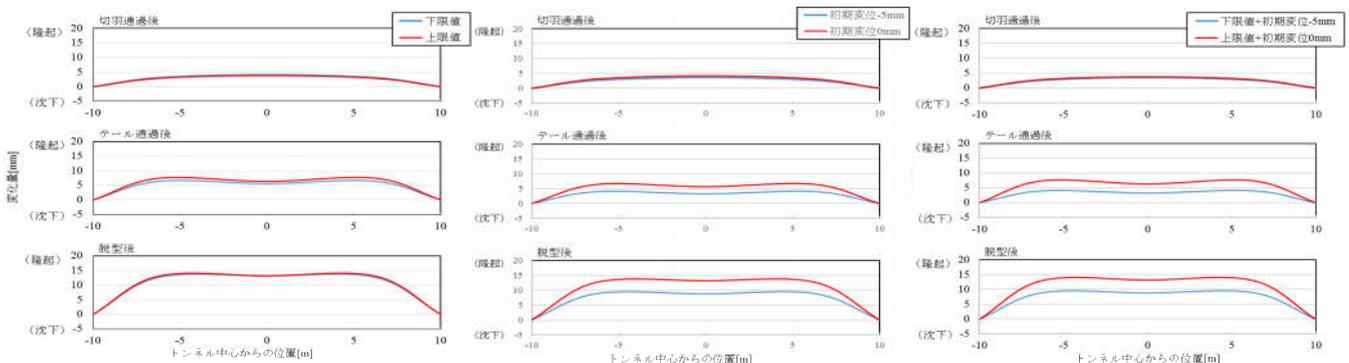


図-4 トンネル変位分布
(テール脱出 12R 後)



a) 上限値，下限値

b) 下限値：初期変位 0，-5mm

c) 上限値+初期変位 0mm，
下限値+初期変位-5mm

図-5 地表面鉛直変位