

### 3次元連続体モデルによる SENS 周辺地盤挙動の事後解析

長岡技術科学大学 学 〇芳野弘基, 学 小柴直也, 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ている<sup>1)</sup>。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<sup>2)</sup>。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<sup>3)</sup>。

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、新たに羊蹄トンネルを対象として SENS 覆工挙動、トンネル周辺地盤挙動の事後解析を行った。

#### 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。シールド機はシェル要素、内型枠と一次覆工は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、シールド機をそれぞれ界面要素で連結した。シールド機は切羽の掘削面に切羽圧、スキンプレート回りに水圧、覆工の切羽側端部にジ

ャッキ力を負荷し、覆工の液体区間にはコンクリート打設圧、固体区間には水圧を負荷した。

##### 2.2 逐次解析

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(図-2 参照)。

- 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、シールド機を前方にシフトし、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、内型枠へコンクリート打設圧、地盤へコンクリート打設圧-水圧を負荷し、コンクリート固結区間では一次覆工に水圧を負荷する。
- 3) 一次覆工が硬化したリングでは、内型枠と一次覆工を合成梁として剛性を増し、内型枠脱型後は剛性を小さくする。

#### 3. 解析対象現場

解析対象断面は、羊蹄トンネルで地表面変位が発生しやすい土被り 6.0m の小土被り区間とした。地質は盛土と細砂・シルト混合の数種類の火山灰で形成されており、地下水位はトンネル天端より上方に位置している。

#### 4. パラメータスタディ

##### 4.1 解析ケース

本解析モデルを用いて、同定が困難な初期変位、

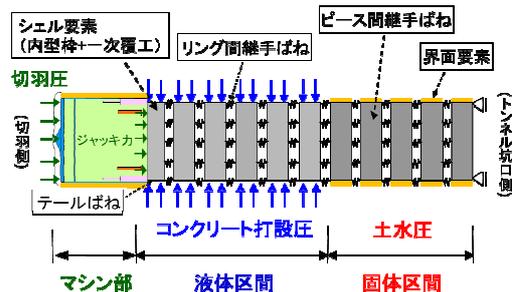


図-1 解析モデルの概要図



図-2 逐次解析概要

キーワード：SENS, 覆工, 内型枠, 3次元 FEM 解析, 逐次解析, 地表面変位

連絡先：〒 940-2188 新潟県長岡市上富岡町 1603-1 長岡技術科学大学 TEL 0258-47-9618

表-1 解析ケース

Case No.	$\delta_{init}$ : 初期変位 (主働側: -) (mm)	$K_{h0}$ : 上部の 静止土圧 係数	$E$ : 上部の 弾性係数	$E$ : 下部の 弾性係数
1	0	実測値		
2	-5			
3	-5	0.5	1/4倍	実測値
4	-5	0.5	1/4倍	4倍
5	-5	1.0	実測値	実測値

静止土圧係数, トンネル中央より上部, 下部それぞれの弾性係数を変数として解析を行った(表-1). ここで, 初期変位  $\delta_{init}$  は, 初期掘削面から覆工外周面までの距離である(主働側: -).

#### 4.2 地盤変位挙動解析

図-3, 図-4, 図-5, 図-6に, 地盤条件が地盤変位挙動に与える影響を示す. これらの図より以下のことがわかる.

- 1) 主働側への初期変位が大きくなると地盤はトンネル内側に変位し, 地表面の隆起は小さくなる.
- 2) トンネル上部の地盤の弾性係数が小さくなると地盤の剛性低下により, 地表面の沈下量が増加する.
- 3) 下部の地盤の弾性係数が大きくなると, 掘削後の下部地盤の除荷により, 地表面の隆起量は減少する.
- 4) 静止土圧係数が大きくなると, 水平有効土圧が増加して地表面の隆起量が増加する.

#### 4.3 計測値との比較

パラメータスタディより, 計測値と整合する解析条件は表-1における Case4 となった. 脱型後の地表面の沈下は, 内型枠が無くなり覆工の剛性が低下したためであると考えられる.

#### 5. まとめ

本研究では三次元連続体モデルを用いて, SENSによる地表面変位を解析し, 計測値と比較した. その結果, 地盤定数を適切に設定すれば, 内型枠と覆工挙動, 地盤変位を合理的に表現できることを確認した.

##### 【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) 畑下創紀, 中田早紀, 杉本光隆, 玉井達毅: SENS

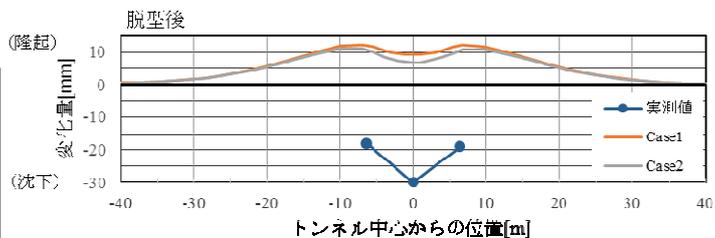


図-3 初期変位の地表面変位への影響

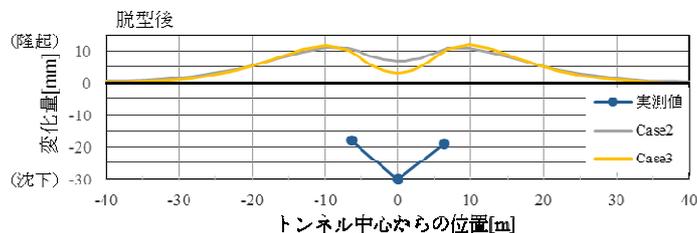


図-4 上部地盤の弾性係数の地表面変位への影響

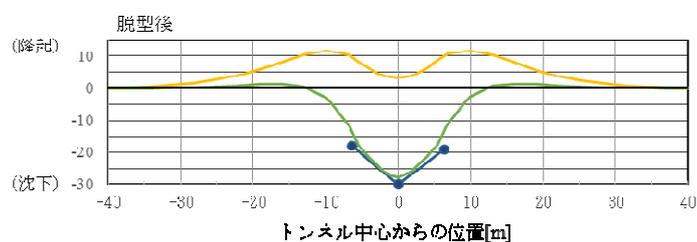
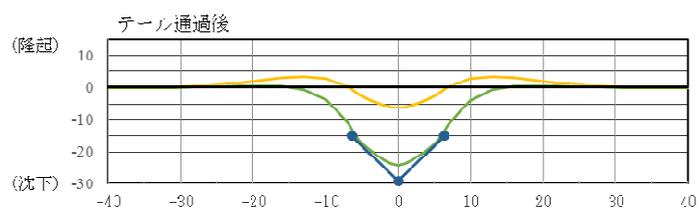
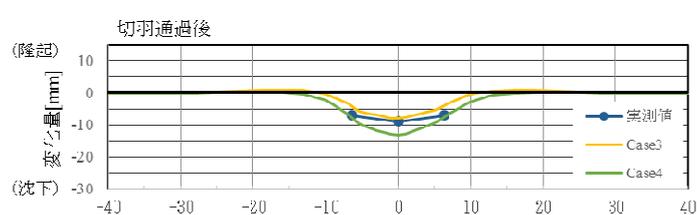


図-5 下部地盤の弾性係数の地表面変位への影響

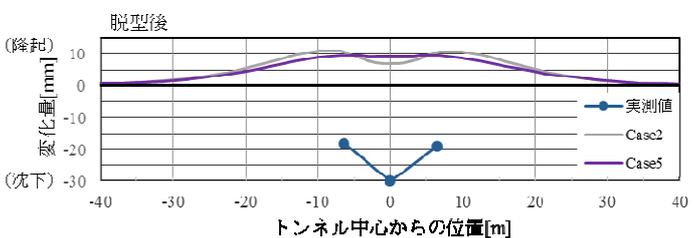


図-6 静止土圧係数の地表面変位への影響

によって構築されたトンネル周辺の地盤変位解析, 第72回土木学会年講, VI-337, 2017.

- 3) 尾崎祥太郎, 岡野良, 杉本光隆, 松本浩司: SENSによるトンネル周辺地盤挙動の解析, 第74回土木学会年講, VI-816, 2019.