

3次元連続体モデルによる SENS 周辺地盤挙動の事後解析

地盤工学研究室 小柴 直也

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が開発された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、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で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・シールドマシン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、覆工の切羽側端部にジャッキ力、スキンプレート回りに水圧を作用させ、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作用させた。

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、マシン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。

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、

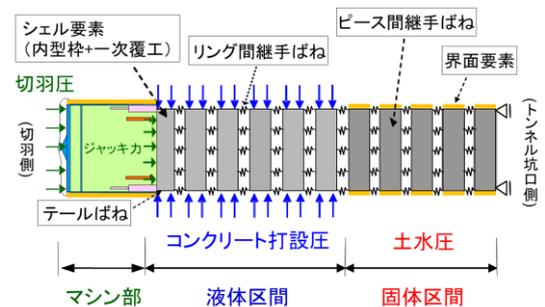


図-1 解析モデルの概要図



図-2 逐次解析概要

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 δ_{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，自重による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，掘削により地盤が地盤よりも軽い内型枠に置き換わることで下部の地盤は除荷され，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解析を実施し計測値と比較した。その結果，地盤定数を適切に設定することで内型枠と覆工挙動，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) 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 解析ケース

Case No.	δ_{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			
2	-5			実測値
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

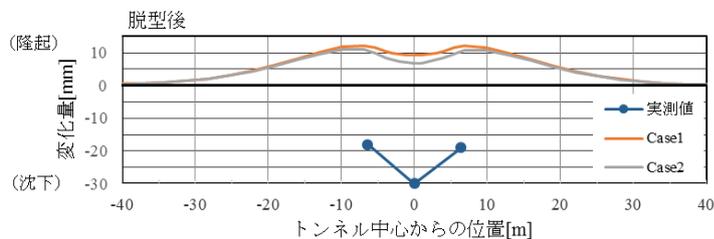


図-3 初期変位の地表面変位への影響

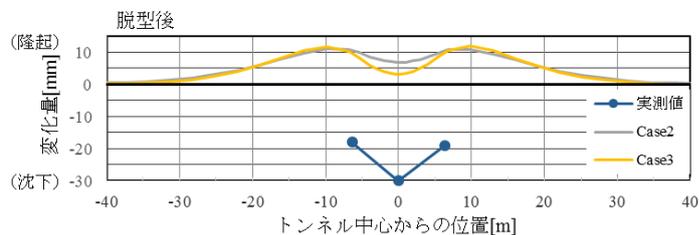


図-4 上部地盤の弾性係数の地表面変位への影響

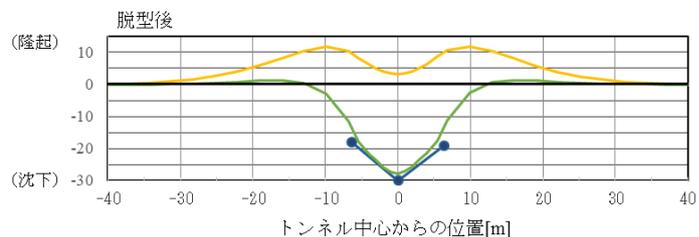
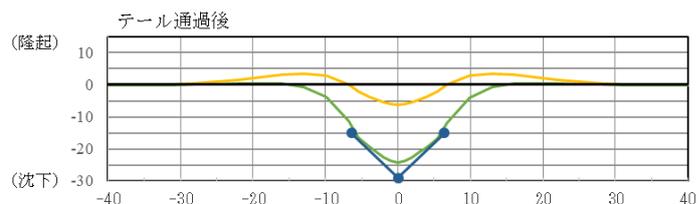
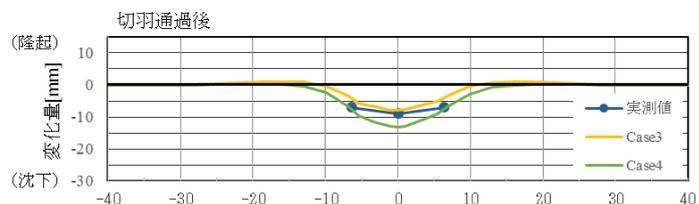


図-5 下部地盤の弾性係数の地表面変位への影響

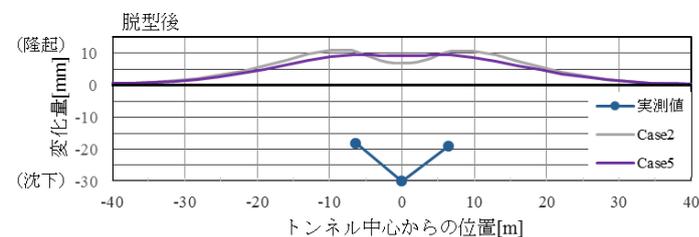


図-6 静止土圧係数の地表面変位への影響