

### 3次元連続体モデルによる SENS 周辺地盤の挙動解析

長岡技術科学大学 学 〇野田裕太郎, 学 芳野弘基  
長岡技術科学大学 学 Huynh le chu an, 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、内型枠が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重要な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、地盤条件（静止土圧係数、弾性係数）と施工条件（地盤のゆるみを表す初期間隙）をパラメータとして、地中変位の予測解析を行った。

#### 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・シールド機をそれぞれ界面要素

素で連結した。シールド機は切羽側に切羽圧、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、シールド機を前方にシフトして、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) 一次覆工硬化後は、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減ずる。

##### 3. 解析対象現場

解析対象断面は、北海道新幹線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。

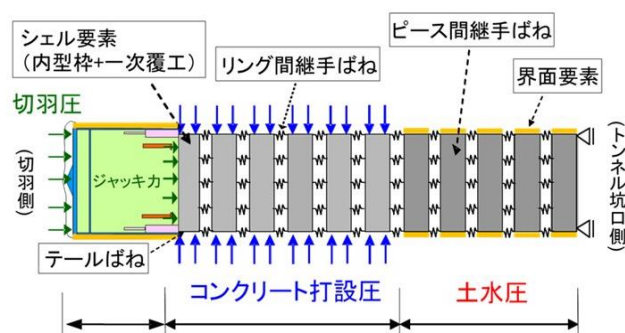


図-1 解析モデル概要図（連続体モデル）

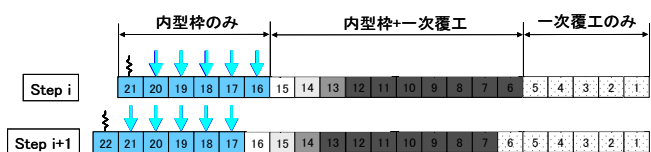


図-2 逐次解析概要

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

## 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、初期間隙、静止土圧係数、トンネル上下部それぞれの弾性係数、をパラメータとして解析を行った(表-1)。ここで、初期間隙  $\delta_{init}$  は、解析前の初期掘削面から覆工外周面までの距離である(+ : 受働側)。

### 4.2 内型枠・覆工変位挙動解析結果

図-3、図-4、図-5、図-6に、地盤条件が内型枠・覆工変位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) 初期間隙が大きくなると土圧は減少するが、浮力の影響が卓越して、覆工変位への影響は軽微である。
- 2) トンネル上部の地盤の弾性係数が小さくなると、上部の側方地盤反力が小さくなって、覆工の水平方向変形量が大きくなる。
- 3) トンネル下部の地盤の弾性係数が大きくなると、下部の側方地盤反力が大きくなるとともに、トンネル掘削の除荷による下部地盤の隆起が減少し、覆工の上方への剛体変位は小さくなる。
- 4) 静止土圧係数が1に近づくと、有効土圧は等圧状態になって、覆工は横長変形から、より円形に近い変形となる。

## 5. 5. まとめ

本研究では、三次元連続体モデルを用いた解析を行い、地盤条件である静止土圧係数、地盤の弾性係数、施工条件である初期間隙が周辺地盤に及ぼす影響を確認した。今後は、実測値と比較して、本モデルの妥当性を評価したい。

### 【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.	$\delta_{init}$ 初期間隙 (mm)(-:主働側)	$K_{h0}$ 静止土圧係数	$E_u$ 上部弾性係数 (N/m <sup>3</sup> )	$E_l$ 下部弾性係数 (N/m <sup>3</sup> )
1	0	0.5	59500	79100
2	-5	0.5	59500	79100
3	-5	0.5	14875( $\times 1/4$ )	79100
4	-5	0.5	14875( $\times 1/4$ )	316400( $\times 4$ )
5	-5	1.0	59500	79100

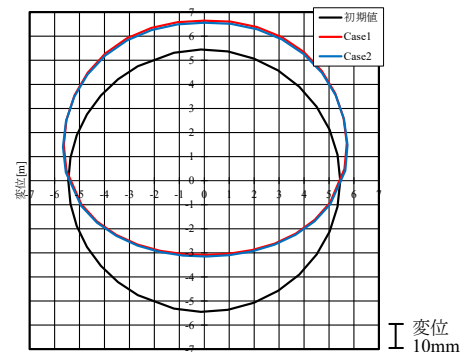


図-3 初期間隙の覆工変位への影響

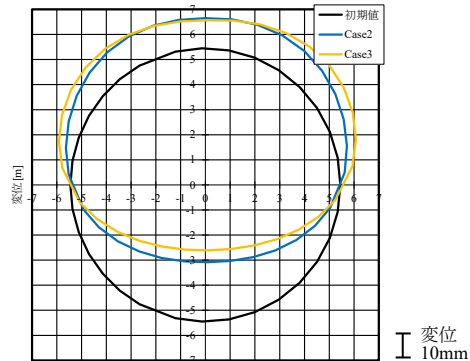


図-4 上部地盤の弾性係数の覆工変位への影響

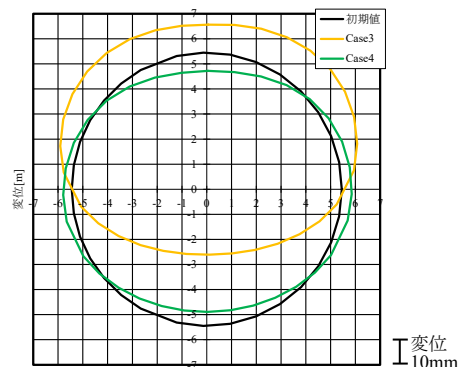


図-5 下部地盤の弾性係数の覆工変位への影響

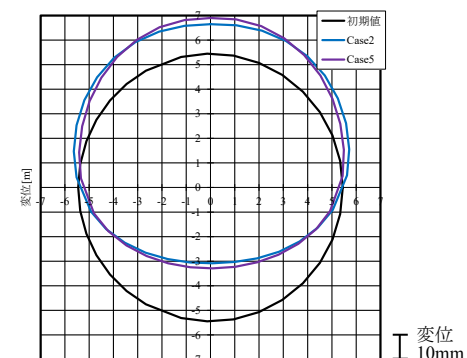


図-6 静止土圧係数の覆工変位への影響