

### 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 ○芳野弘基

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<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、地盤の静止土圧係数や弾性係数の地盤条件での解析を行うことで、地中変位の予測を行い、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。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。

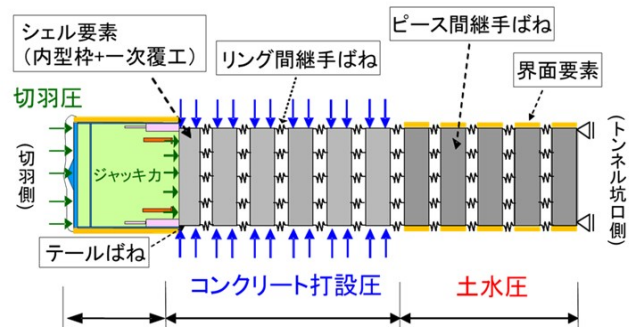


図-1 解析モデル概要図 (連続体モデル)

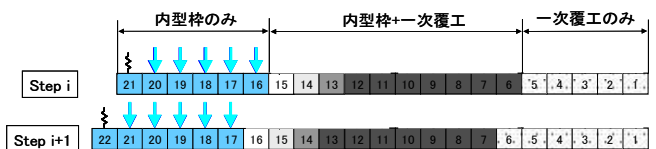


図-2 逐次解析概要

#### 3. パラメータスタディ

##### 3.1 解析ケース

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。

本解析モデルを用いて、同定が困難な初期変位、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：-)。

### 3.2 内型枠・覆工変位挙動解析

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) 主働側への初期変位が大きくなると土圧の減少によって覆工の上方への剛体変位が減少する。
- 2) トンネル上部の地盤の弾性係数が小さくなると、トンネル掘削による応力解放の影響が大きくなって、覆工の水平方向の変形量が大きくなる。
- 3) 下部の地盤の弾性係数が大きくなると、トンネル掘削による除荷で隆起量は減少し、覆工の上方への剛体変位は減少する。
- 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、トンネルが横長変形から、より円形に近い変形となる

### 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、地盤条件である静止土圧係数、地盤の弾性係数、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 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

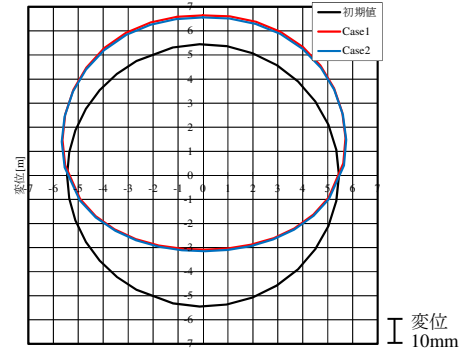


図-3 初期変位の覆工変位への影響

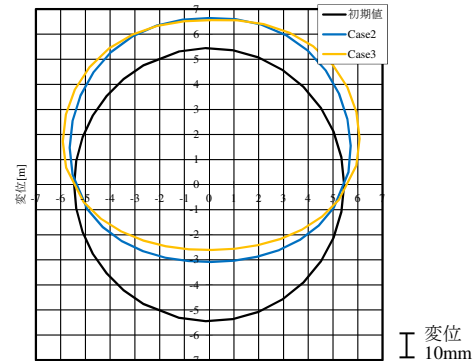


図-4 上部地盤の弾性係数の覆工変位への影響

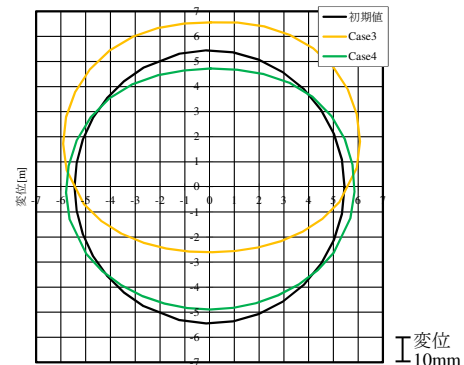


図-5 下部地盤の弾性係数の覆工変位への影響

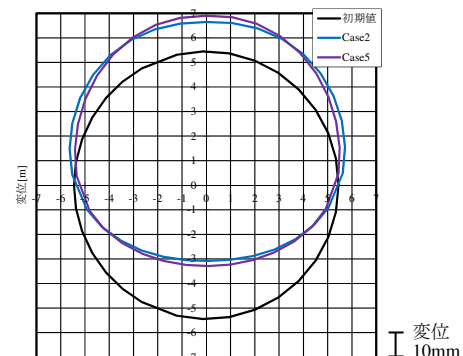


図-6 静止土圧係数の覆工変位への影響