

SENS 工法によるトンネル周辺地盤挙動の解析

地盤工学研究室 岡野 良

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⁾。畑下らは、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、地盤の水平変位挙動が一致しなかった³⁾。

そこで本研究では、改めて同手法の妥当性を検討することを目的として、畑下らの研究と同じ現場を対象に、新たに改良を加えた三次元連続体モデルによって SENS 覆工挙動、トンネル周辺地盤挙動を解析した。

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。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。覆工に直接作用させる荷

重は、先端のシェルヘジャッキ力、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。本研究では、新たに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 の赤丸参照)。

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. パラメータスタディ

3.1 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、静止土圧係数、弾性係数を変数とした解析を行った(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：-)。解析対象断面は、西谷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。

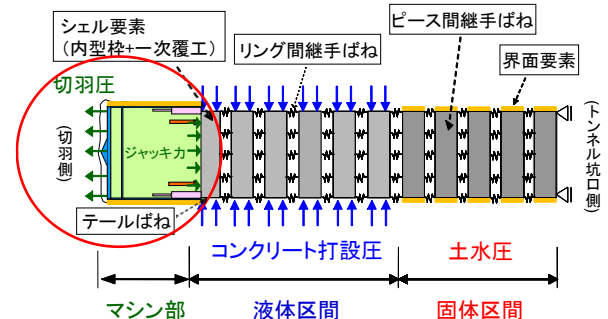


図-1 解析モデルの概要図



図-2 逐次解析概要

3.2 地盤変位挙動解析

ここでは、地盤変位挙動について述べる。図-3、図-4、図-5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、有効土圧の減少が大きくなるため、トンネル上部の地盤反力が小さくなり、隆起傾向は小さくなる。また、初期掘削面と覆工の間の隙間により、トンネル内側への水平方向地盤変位は大きくなる。
- 2) 静止土圧係数が小さくなると、水平有効土圧が小さくなるため、トンネル内側への水平方向地盤変位は小さくなり、トンネル外側への水平方向地盤変位もみられる。
- 3) 弾性係数が大きくなると、主働側の初期変位による有効土圧の減少が大きくなるため、隆起傾向、トンネル内側への水平方向地盤変位は小さくなる。

3.3 計測値との比較

パラメータスタディ(図-3、図-4、図-5)より、計測値と整合する解析条件は、初期変位 $\delta_{init}=-10\text{mm}$ 、静止土圧係数 $K_{h0}=1$ 、弾性係数 $E=140\text{MN/m}^2$ (表-1におけるCase3)となった。

4. まとめ

本研究では、新たに改良を加えた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、本解析手法により、内型枠・覆工挙動、地盤変位挙動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) 畑下創紀，杉本光隆：連続体モデルによる SENS 覆工挙動の解析，長岡技術科学大学大学院修士論文，2018.

表-1 解析ケース

Case No.	δ_{init} : 初期変位 (主働側 : -) (mm)	K_{h0} : 静止土圧係数	E : 弾性係数 ^{※1} (MN/m ²)
1	0	1	140
2	-5		
3	-10		
4	-5	1	140
5		0.75	
6		0.5	
7	-10	1	140
8		0.75	
9		0.5	
10	-5	1	70
11			140
12			280
13			70
14	-10	1	140
15			280

※1 上総層群粘性土の弾性係数

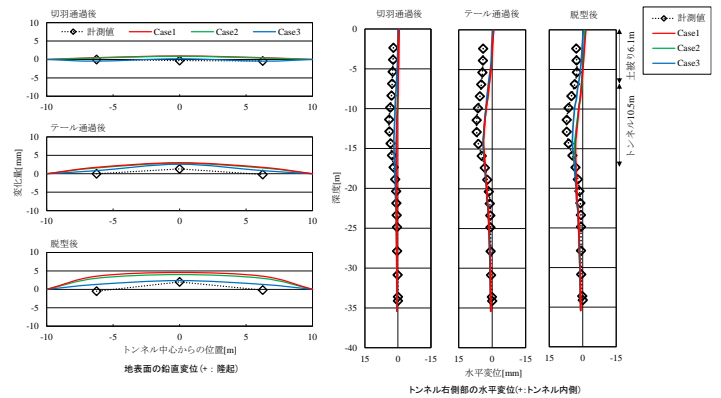


図-3 初期変位の影響

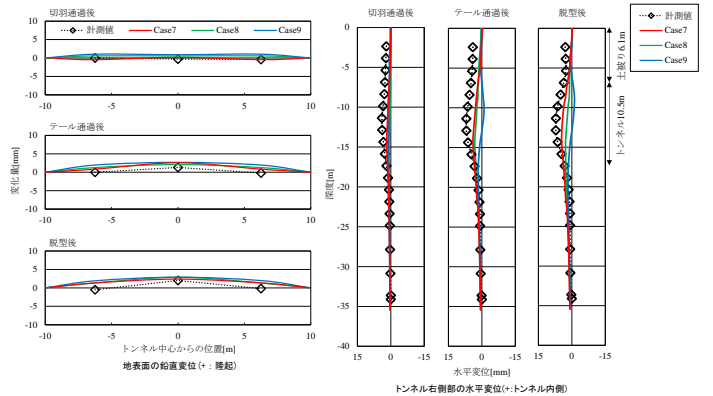


図-4 静止土圧係数の影響

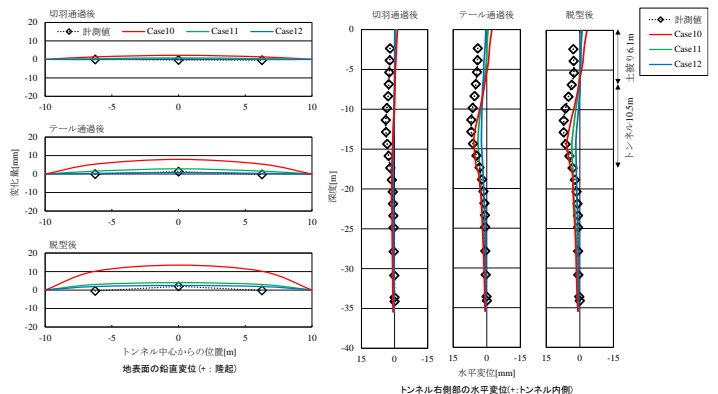


図-5 弾性係数の影響