

連続体モデルによるトンネル覆工挙動および周辺地盤変位に関する研究

長岡技術科学大学 学 ○相馬裕希 真鍋晃一 Pham The Anh 正 杉本光隆

1. はじめに

トンネル覆工設計における解析的手法は、主としてはり-ばねモデルと連続体モデルの二種類に大別され、広く用いられてきた。既往の研究では、変位境界のはり-ばねモデルを拡張し、覆工と周辺地盤をモデル化した3次元連続体モデル（以後、本解析モデルと呼ぶ）を開発し、パラメータスタディによってモデルの妥当性を確認している¹⁾。さらに、従来の応力境界を用いた解析では、同じ設計条件を用いても、はり-ばねモデルと連続体モデルで求めた覆工断面力は一致しないが、新しく提案した変位境界を用いた解析では、両モデルで求めた覆工断面力は適正な地盤物性値を設定すれば、一致することが明らかとなり、両モデルで変形や断面力が一致する地盤物性値換算式を求めている²⁾。しかし、過去の研究では、トンネル周辺地盤の挙動及び解析領域の検討がなされていなかった。

そこで本研究では、解析領域が地表面変位とトンネル覆工の挙動に与える影響を検討することを目的として、側方領域とトンネル下方領域が解析結果に与える影響について確認し、その設定法を提案した。

2. 解析モデル

(1) 逐次解析

本研究ではシールドトンネルの施工過程を表現するため、3段階に分けて解析した。図-1に逐次解析の手順を示す。

(2) 解析条件

図-2および表-1に示すように解析領域をパラメータとする感度分析を実施した。トンネルの半径は4 m、土被りは41.488 mとした。地盤の条件はシールド工法が適用される軟弱地盤の代表値として $k=10\text{ MN/m}^3$ 、硬質地盤の代表値として $k=50\text{ MN/m}^3$ を設定し、既存の地盤物性値換算式で連続体モデルの入力地盤物性値（弾性係数）を求めた。また、トンネル覆工設置時に静止土圧相当の有効土圧が作用する有効裏込め注入率

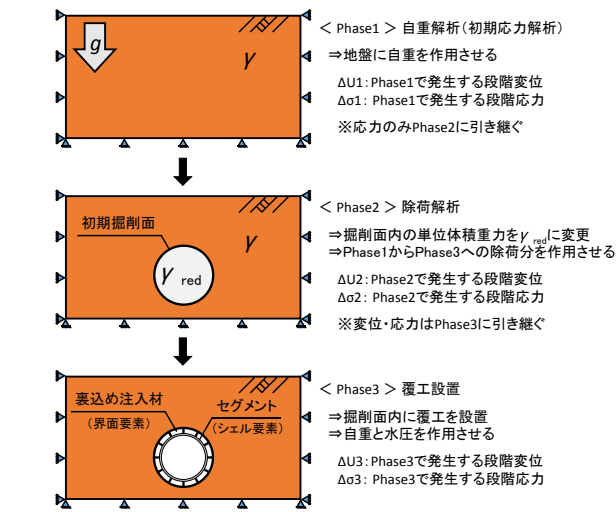


図-1 逐次解析の手順

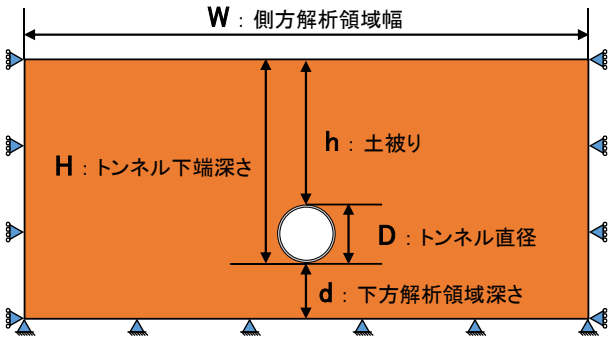


図-2 解析領域の手順

表-1 感度分析ケース

		側方解析領域幅 W ($\times H$)				
		1	2	3	4	5
下方解析領域深さ d ($\times D$)	1				○	
	2				○	
	3	○	○	○	○	○
	4				○	
	5				○	

表-2 地盤条件

天端鉛直土圧 (kN/m^2)	342.27	
天端水圧 (kN/m^2)	300.8	
土単位体積重量 (kN/m^3)	15.5	
土の水中単位体積重量 (kN/m^3)	5.5	
水単位体積重量 (kN/m^3)	10.0	
側方土圧係数	0.5	
ポアソン比	0.33	
地盤反力係数 (MN/m^3)	10	50
弾性係数 (MN/m^3)	30.11	150.53

キーワード シールド工法, 3次元連続体モデル, 解析領域, 変位境界, 逐次解析
連絡先 〒940-2188 長岡市上富岡 1603-1 長岡技術科学大学 TEL0258-46-6000(代表)FAX0258-47-9600

$\alpha_g=100\%$ を設定した。解析に用いたその他の地盤条件を表-2に示す。

3. 側方解析領域幅の検討

図-3、図-4に、トンネル中心線上の地表面とトンネル直上部の地盤変位量を示す。なお、図中の「地盤変位量の比」は、地盤変位量を側方解析領域幅 $W=5H$ とした場合の地盤変位量で除したものである。この図から以下のことがわかる。

- 1) Phase2 では、除荷による影響で鉛直上向きの地表面変位が発生する。
- 2) Phase3 では、覆工を設置したことによるトンネル掘削領域の剛性低下の影響で鉛直下向きの地表面変位が発生する。
- 3) 地表面変位・トンネル周辺地盤の挙動は、 W を H の3倍以上に設定すれば、 $W=5H$ との差は4%以下でほぼ一定となる。

4. 下方解析領域深さの検討

図-5、図-6に、下方解析領域深さ d をパラメータとした地表面の鉛直変位量を示す。この図から以下のことがわかる。

- 1) Phase2 では、 d を大きく設定するほど、除荷によるトンネル下方地盤のリバウンド量が増え、地表面は鉛直上向きに大きく変位する。
- 2) Phase3 では、地表面変位は d によらずほぼ一定で、 d をトンネル直径 D の3倍以上とすれば、 $d=5D$ との差は4%以下で、ほぼ一定となる。

5. 結論

以上より、側方解析領域長さ W を H の3倍以上、下方解析領域 d は D の3倍以上とすること、下方領域の影響を避けるためには、除荷により発生する Phase2 の変位 ΔU_2 を Phase3 に引き継がないことが必要であること、がわかった。

本解析モデルは、硬質地盤にも適用可能であることから、NATM 工法による計測データにより、本モデルの妥当性を今後検証したい。

参考文献

- 1)赤井勇司, 杉本光隆: 地盤の応力再配分を考慮したシールド覆工の設計法に関する研究, 長岡技術科学大学工学研究科修士論文, 2015.
- 2)白井隆文, 杉本光隆: 3DFEM によるシールドトンネル覆工の設計定数の検討, 長岡技術科学大学工学研究科修士論文, 2016.

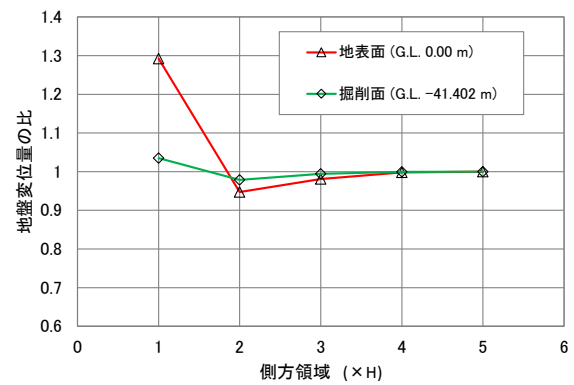


図-3 鉛直変位比: $k=10 \text{ MN/m}^3$ (ΔU_2)

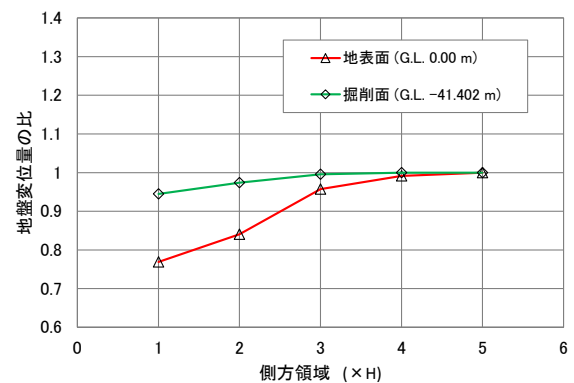


図-4 鉛直変位比: $k=10 \text{ MN/m}^3$ (ΔU_3)

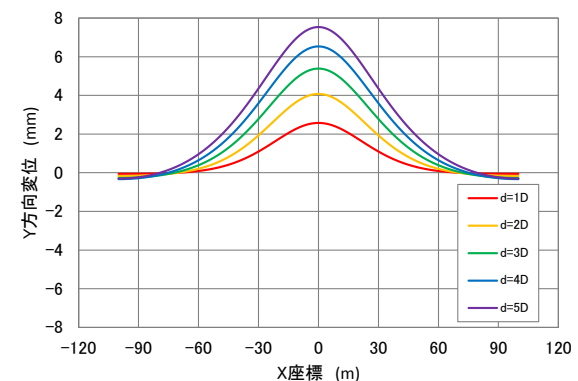


図-5 地表面の変位分布: $k=10 \text{ MN/m}^3$ (ΔU_2)

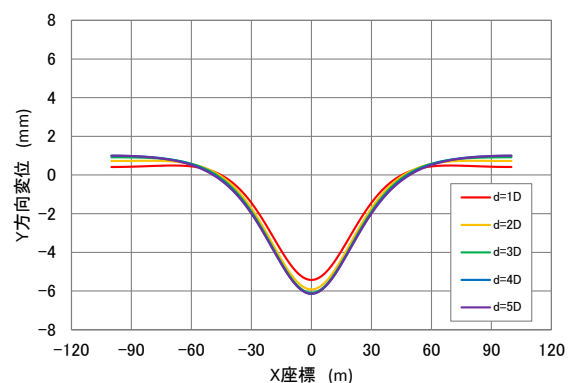


図-6 地表面の変位分布: $k=10 \text{ MN/m}^3$ (ΔU_3)