

矩形断面推進工法における応力解放率の異方性を考慮した地表面変位

鉄建建設 正会員 ○山田 宣彦
鉄建建設 正会員 栗栖 基彰
鉄建建設 正会員 西村 知晃
鉄建建設 非会員 加藤 健央

1. はじめに

トンネル掘削に伴う周辺地盤の安定問題は、三次元解析で検討するほうが望ましい。しかし、解析モデルの煩雑さやコストなどの問題から、二次元解析で検討されることが多い。泥水式や土圧式のような密閉型シールド工法における切羽到達時の地表面の変位量を二次元解析で予測する場合、掘削相当外力に応力解放率 α を乗じることで、掘削相当外力を調整し、切羽に作用する土水圧の影響や、テールボイド部において解放される地盤の初期応力および切羽後方に施工されるライニングの抵抗を表現する¹⁾。

代表的なトンネル工法の一つであるシールド工法については、地盤の変位量予測に重要な応力解放率 α の設定に関する文献は多い。西山らの研究²⁾では、その設定について、円形断面と異なり参考例の少ない矩形断面の推進工法に着目し、応力解放率の異方性（上面と側面、底面の応力解放率の違い）が地表面変位量に与える影響を、モデル地盤を設定して検証を行っている。

本稿では、密閉型矩形断面推進工法の施工実績をもとに、応力解放率の異方性を考慮した現地盤での解析結果との比較、検証を行った。

2. 解析概要

(1)解析モデル

今回の検証に使用した施工実績は、交通量の多い重要幹線道路直下の盛土部に、外寸法が 3600 mm×3600 mm である矩形断面の歩道トンネルを構築するものである。非開削工法の一つである、密閉型推進工法にて施工された。解析に用いる地盤条件を表-1に示す。当該工事の地盤条件にもとづき設定した。なお、変形係数 E_0 については、構築する歩道トンネル以深の地盤において、リバウンド量を計算するときの変形係数の補正³⁾から変形係数の求め方に応じて係数を乗じた。解析モデル概要図を図-1に示す。3.6 m×3.6 m のボックスカルバートを、土被り 5.248 m の位置で推進する場合とした。

表-1 地盤条件

地層名	地質記号	設計N値	単位体積重量 γ_t (kN/m ³)	変形係数 E_0 (kN/m ²)	ポアソン比 ν
盛土	F	4	19.0	12,724	0.48
				50,896 ^{*1}	
腐植土層	Ap	4	11.0	8,760 ^{*2}	0.48
砂質土層	As	24	17.0	88,288 ^{*1}	0.33
粘性土層	Ac	3	16.0	25,200 ^{*3}	0.48
礫質土層	Ag	47	20.0	394,800 ^{*3}	0.26
粘性土層	Tuc	30	18.0	252,000 ^{*3}	0.48

*1 孔内水平載荷試験から求めた E_0 であることから、4 を乗じた。
*2 一軸圧縮試験の q_0 から求めた E_0 であることから、実測値とした。
*3 N 値から求めた E_0 であることから、3 を乗じた。

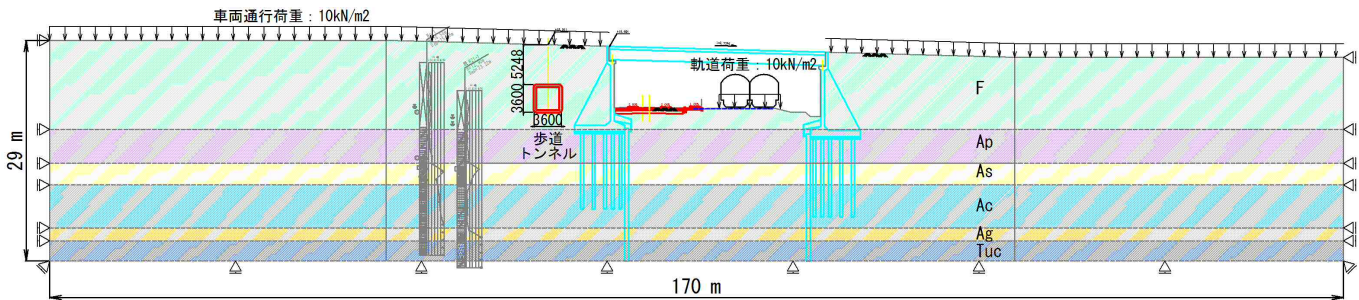


図-1 解析モデル概要図

キーワード 二次元 FEM, 地表面変位, 矩形断面推進工法, 応力解放率
連絡先 〒101-8366 東京都千代田区神田三崎町二丁目 5 番 3 号 TEL 03-3221-2165

(2) 解析手順

推進工法による掘削であることから、解析手順を次のように定めた。STEP1：一般的な初期応力解析を行う。STEP2：矩形断面を掘削する。STEP3：ボックスカルバートの剛性を考慮する。表-2 に解析ケースごとのSTEP2 およびSTEP3における応力解放率 α を示す。解放面で一様となる場合を case1 とし、下面の応力解放率を低減させた場合を case2 および case3 とした。なお、応力解放率の低減に関しては、解析上、掘削相当外力に応力解放率の低減分を乗じて、掘削相当外力の作用方向と逆方向に载荷させることで表現した。

3. 検証結果

(1) 地表面変位

地表面変位の計測計画図を図-2 に示す。また、ボックスカルバートの推進開始から、到達後1ヶ月分の計測点 B5 の計測結果を図-3 に示す。B5 直下に切羽が来るまでは若干の隆起傾向を示し、切羽通過後沈下傾向を示した。

(2) 検証結果

図-4 に施工実績と二次元 FEM で得られた、各解析ケースにおける地表面変位の比較図を示す。施工実績については、計測点 B5 における3月10日現在の計測結果をプロットした。掘削時の応力解放率を、上面および側面と下面で異なる値を与えた case2 および case3 の方が、応力解放率を一様とした case1 と比べて、地表面変位の最大値を精度よく表した。

4. まとめ

解析結果と施工実績を比較にすることにより、矩形断面の推進工法において、地表面の沈下予測には二次元 FEM による解析でも十分実用的であることがわかった。しかし、切羽面に径 200mm 程度の玉石が多数出現したことから、地表面の変位量が大きく出た可能性がある。今後も実施工と解析結果を比較して、応力解放率の数値設定の参考事例を増やすとともに、アンダーパスにおける非開削工法の一つであるエレメントけん引工法への適用を検討していきたいと考えている。

参考文献

- 1) 都市部鉄道構造物の近接施工対策マニュアル：鉄道総合技術研究所編，2007。
- 2) 西山他：矩形断面掘削時の土圧変化を考慮した応力非一様解放に伴う地表面変位応答：トンネル工学報告集，第26巻，IV-2，2016.11
- 3) 鉄道構造物等設計標準・同解説 開削トンネル，鉄道総合技術研究所編，2001。

表-2 応力解放率

解析ケース	STEP2			STEP3		
	応力解放率 (%)			応力解放率 (%)		
	上面	側面	下面	上面	側面	下面
case1	50	50	50	50	50	50
case2	40	40	20	60	60	30
case3	40	40	0	60	60	0

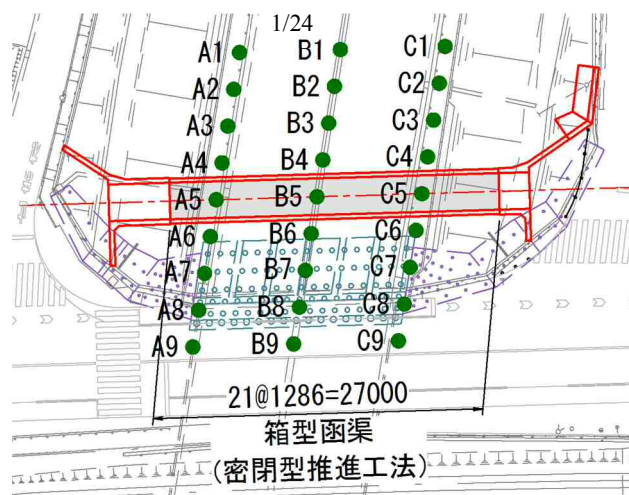


図-2 地表面計測計画図

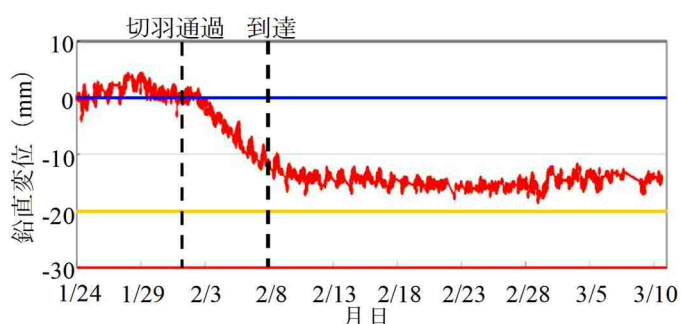


図-3 B5 計測結果

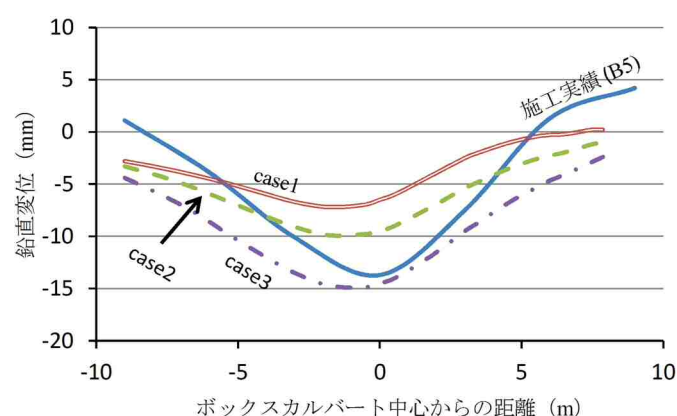


図-4 地表面変位分布図