

ボックス推進における地表面変位の解析結果と実測

三嶋 武典*1・山田 宣彦*1・西村 知晃*2

概 要

既存の鉄道や道路に近接して新たな構造物を構築する場合、施工に伴う周辺地盤や構造物の近接影響解析は、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、ライニングの抵抗等を表現する。

シールド工法では、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が、これは円形断面であり、矩形断面の推進工法における応力解放率 α の設定に関する文献は少ない。そこで、密閉型泥土圧式ボックス推進工法の二次元 FEM 解析結果を施工実績と比較し、掘削断面の形状が地表面変位に与える影響を応力解放率 α の数値設定をもとに検証した。
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

ANALYSIS RESULTS AND ACTUAL MEASUREMENTS
OF GROUND SURFACE DISPLACEMENTS FOR A BOX-JACKING METHOD

Takenori MISHIMA *1, Nobuhiko YAMADA *1, Tomoaki NISHIMURA *2

Abstract

When building a structure underground in the proximity of a railway or road, the impact of construction on nearby ground and structures have been analyzed two-dimensionally for many situations. When using a closed type shield method such as the slurry method and earth-balanced pressure method, displacement of the ground taking place after the closed type shield machine advances a certain distance underground is calculated by multiplying the equivalent external force resulting from excavation by α , the stress release rate, to express the resistance of lining, etc.

For shield methods, there is extensive literature on how to set the stress release rate of α when predicting ground displacement, but in this case, it should be noted that the cutting face takes a circular geometry. However, with regard to the culvert-jacking method, the cutting face has a rectangular shape, and therefore there is little documentation. To study the geometry of cutting faces in detail, the results of the two-dimensional FEM analysis of a closed type earth pressure-box jacking method were compared with measurements taken at actual construction sites, and we validated how the geometry of the cutting face affects the displacement of ground surface in terms of a set value for α .

Keywords: 2D FEM, ground surface displacement, rectangular jacking method, stress release rate

*1 Underground Structure Group, Underground / Foundation Department, Civil Engineering Division

*2 Manager, Underground Structure Group, Underground / Foundation Department, Civil Engineering Division

ボックス推進における地表面変位の解析結果と実測

三嶋 武典*1・山田 宣彦*1・西村 知晃*2

1. はじめに

既存の鉄道、道路およびライフライン施設などに近接して新たな構造物を施工する場合、工事がそれらに与える影響を推定し、影響低減の施策が求められる。施工に伴う周辺地盤や構造物の近接影響解析は、三次元解析で検討することが望ましいが、解析モデルの煩雑さやコストなどの問題から、実用上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⁾。応力解放の考え方の概念図を図-1に示す。

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 に関する文献は多いが、これは円形断面であり、矩形断面の推進工法における応力解放率 α の設定に関する文献は少ないという現状がある。

そこで、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、密閉型泥土圧式

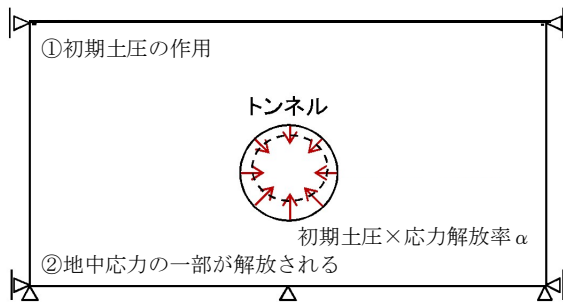


図-1 応力解放の考え方

ボックス推進工法の二次元 FEM 解析結果を施工実績と比較し、掘削断面の形状が地表面変位に与える影響を、応力解放率 α の数値設定をもとに検証した。本稿ではその検証結果について報告する。

2. 解析概要

2.1 解析目的

矩形断面では、その形状のため掘削時の地盤の応力は、上面および側面よりも下面の方が小さく解放されると考えられた。そこで、地表面変位の計測を行った現場の地盤をモデル化し、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）を考慮した二次元 FEM による解析を行うこととした。

2.2 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、非開削工法の一つである、密閉型推進工法にて外寸法が $3.6\text{m} \times 3.6\text{m}$ である矩形断面の歩道トンネルを構築するものである（写真-1）。解析に用いる地盤条件を表-1に示す。地盤条件は、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



写真-1 施工箇所全景

*1 土木本部 地下・基礎技術部 地下構造グループ

*2 土木本部 地下・基礎技術部 地下構造グループ グループリーダー

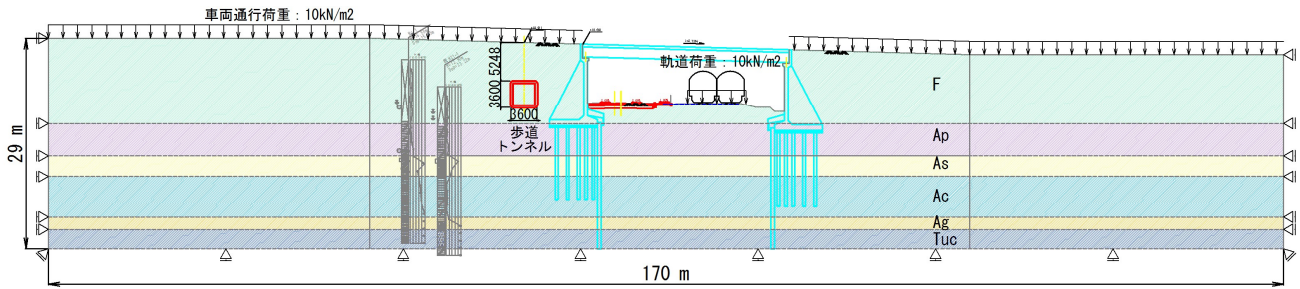


図-2 解析モデル概要図

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_o (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_o であることから、4 を乗じた。
- *2 一軸圧縮試験の q_u から求めた E_o であることから、実測値とした。
- *3 N 値から求めた E_o であることから、3 を乗じた。

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²⁾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-2に示す。3.6m×3.6mのボックスカルバートを、土被り5.248mの位置で推進する場合とした。

2.3 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荷重させることで表現した。case2の解析概念図を図-3に示す。

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

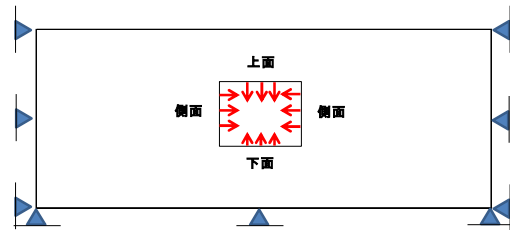


図-3 case2の解析概念図

3. 検証結果

3.1 地表面変位

地表面変位の計測計画図を図-4に示す。計測は、トータルステーションのノンプリズム計測機能を用いて自動計測を実施した(写真-2)。また、ボックスカルバートの推進開始か

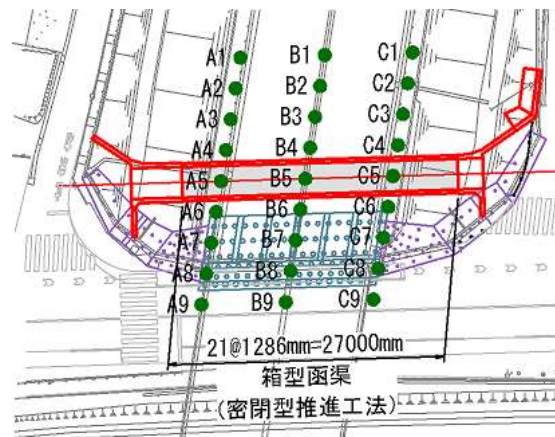


図-4 地表面計測計画図



写真-2 地表面変位計測状況

ら、到達後約1ヶ月分の計測点B5の計測結果を図-5に示す。路面変位の傾向としては、測点B5直下に切羽が近づくまでは若干の隆起傾向を示し、切羽通過後は沈下傾向を示した。

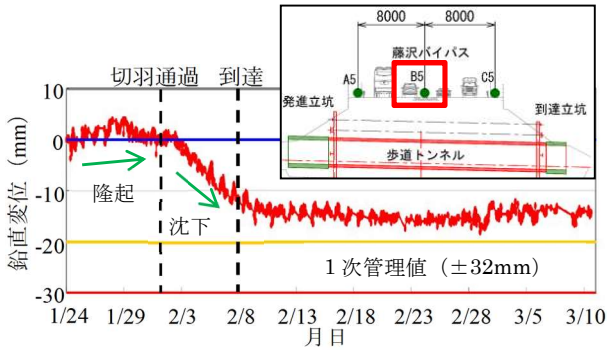


図-5 B5計測結果

3.2 検証結果

二次元 FEM で得られた各解析ケースにおける地表面変位と施工実績の比較図を図-6に示す。施工実績については、Bライン上における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すことができた。STEP3 の各 case ごとの地表面変位の最大値の解析結果をまとめたものを図-7~図-9に示す。

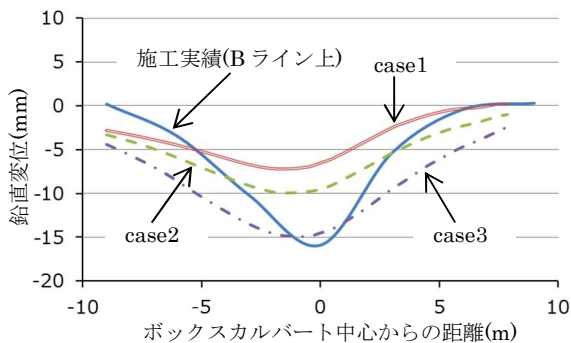


図-6 地表面変位図

4. まとめ

解析結果を施工実績と比較することにより、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。

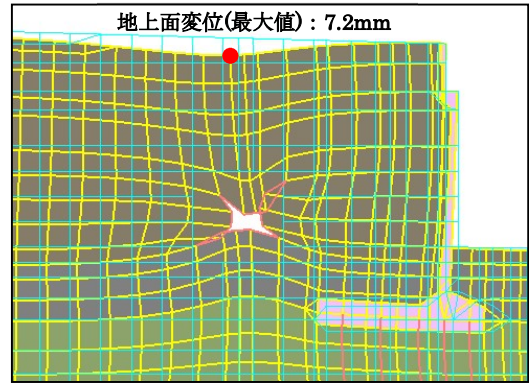


図-7 変位解析結果図(STEP3) case1

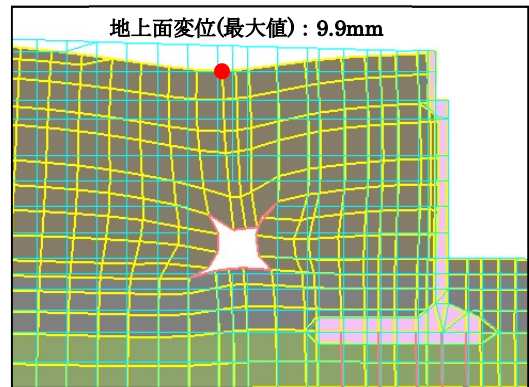


図-8 変位解析結果図(STEP3) case2

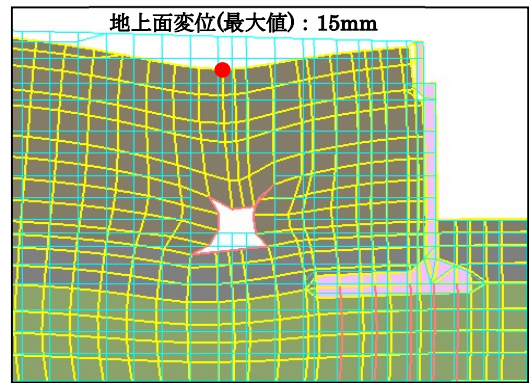


図-9 変位解析結果図(STEP3) case3

参考文献

- 1) 鉄道総合技術研究所編：都市部鉄道構造物の近接施工対策マニュアル，2008.7
- 2) 鉄道総合技術研究所編：鉄道構造物等設計標準・同解説 開削トンネル，2001.3