

小口径推進工法の掘削に伴う地表面沈下の解析的検討

JR 東日本コンサルタンツ株式会社 正会員 ○青山 貴洋

JR 東日本コンサルタンツ株式会社 正会員 山本 忠

東日本旅客鉄道株式会社 正会員 大塚 隆人

1. はじめに

推進工法で線路下に横断管路を敷設する場合、軌道への影響を予測し、それをもとに施工計画を策定する必要がある。軌道変位の予測（以下、影響検討）はFEM解析によることが多い。今回、小口径推進工法を対象に、影響検討に関する各種条件（推進工の径、土被りおよび地盤条件等）を変数としたパラメータスタディを行い、掘削に伴う軌道変位（地表面変位）の把握を行ったので報告する。

2. 検討条件

影響検討を2次元FEM解析（平面ひずみ問題）で行うにあたり、主な解析条件は表1とした。モデル化領域の考え方を図1に示すが、推進工掘削に伴う地表面の影響範囲は概ね45度と考え、モデル化幅は余裕をみて孔の左右に孔底土被りH₁の1.5倍を確保した。深さ方向の領域設定については、掘削に伴う地盤重量の除荷に伴い、マクロ的には上向きの力が作用して孔周辺が隆起（リバウンド）する挙動に注意が必要である。孔下方のモデル化領域が広い（深い）ほど地盤バネが長くなるためリバウンドの影響が大きくなるが、本検討では地表面沈下量の評価が主目的のため、孔下方のモデル化領域を少なめに1Dとした。

FEMのステップ計算は、STEP1：地盤初期応力解析（推進工施工前）、STEP2：孔掘削計算（3次元効果を考慮した応力解放率設定）とした。本来は、それ以降に推進管を敷設して残りの地中応力が解放されるステップが存在するが、この計算は管の剛性によって孔が円形を保持したままリバウンドの影響だけが表れることが多く、地表面の沈下量が減少することから、このステップは検討を省略した。また、掘削による影響が及ばない十分な幅をモデル化していることから、STEP2では両側面の境界条件を固定とした。

解析パラメータは、削孔径、土被り、応力解放率、ポアソン比、単位体積重量および変形係数とし、表2に示す値を組み合わせ用いた。土被りが極端に少ない場合、施工の影響が地表面に表れやすく、支障物等も懸念されることから、土被りは1.0m以上とした。地盤は単一層とし、比較的緩い地盤を想定した。

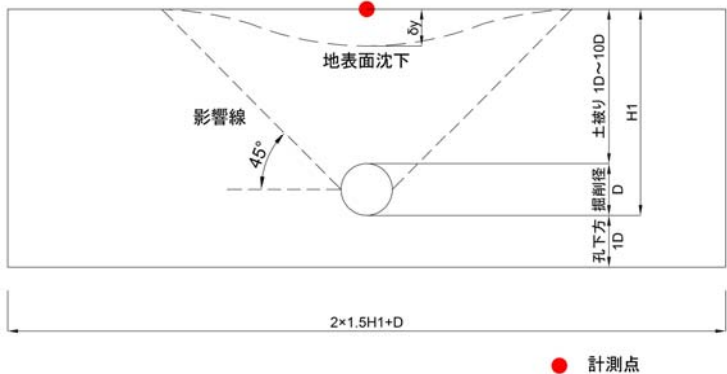


図1 モデル化領域の設定

表1 FEM解析条件

解析手法	2次元FEM弾性解析
解析STEP	STEP1:初期応力解析 STEP2:掘削解析
上載荷重	軌道重量+列車荷重 (10kN/m ² +25kN/m ²)
境界条件	側面:STEP1 鉛直フリー STEP2 固定 底面:固定
地層構成	単一層

表2 解析パラメータ

項目	適用値			備考
掘削径D(mm)	300, 500, 700			小口径推進
土被りH	2D, 3D, 5D, 10D			土被り1.0m以上
応力解放率α(%)	20, 30, 40, 50, 100			
ポアソン比ν	0.35(砂質土) 0.45(粘性土)			
N値	2	10	30	γ:N値から想定 E=2500N
単位体積重量γ(kN/m ³)	14	18	19	
変形係数E(kN/m ²)	5000	25000	75000	

キーワード 小口径推進, 軌道変位, 沈下, 解析

連絡先 〒141-0033 東京都品川区西品川一丁目1番1号 JR 東日本コンサルタンツ株式会社 TEL 03-5435-7628

3. 検討結果

(1) 掘削径と土被りの関係

緩い粘性土を想定し、掘削径および土被りを変数とした地表面変位を図2に示す。グラフの横軸は土被りを掘削径で正規化して表している。地表面変位に対しては掘削径の感度が高いが、変位の絶対値は比較的小さく、土被りが3D以上になると変化も僅かとなる。

(2) 応力解放率 α の影響

掘削径 700mm とし、応力解放率 α および土被りを変数とした地表面変位を図3に示す。弾性解析であるため地表面変位は α に比例する。

(3) 地質（ポアソン比）の影響

地質の違いはポアソン比 ν で考慮し、砂質土 0.35、粘性土 0.45 としたが、図4に示すようにポアソン比の影響は極僅かである。

(4) 地盤の影響

掘削径 700mm、地盤の変形係数（N 値=2, 10, 30）および土被りを変数とした地表面変位を図5に示す。 α は大き目に 100%としたが、このケースにおいても地表面変位は 4mm 以下であり比較的小さい。

鉄道近接工事に伴う軌道の許容変位は、列車の走行安全の目的から「整備基準値」を限界値 B とし、工事中止値（ $B \times 0.7$ ）、警戒値（ $B \times 0.4$ ）を設定し管理する。例えば、在来線 120km/h 以上の線区では、限界値 15mm（高低・通り、静的値）であり、工事中止値 10.5mm、警戒値 6mm となる。今回の検討結果においては、 $\alpha = 100\%$ として地表面沈下を安全側（大き目）に評価したとしても、地表面沈下は管理値以内に収まる結果となった。

なお、本検討は推進掘削に伴う地表面沈下量を予測するものであり、支障物の押上げや土砂の引き込み過多等の施工による影響は別途考慮する必要がある。

4. まとめ

小口径推進工事の影響検討において、各種解析条件をパラメータとして地表面変位を求めた。検討の結果、地表面沈下を大き目に評価したとしても、解析上は鉄道近接工事における軌道の許容変位以内に収まる事が分かった。本稿が小口径推進工事の設計の参考となれば幸いである。

参考文献

- 1) 大塚 他：小口径推進工法の施工に伴う地表面沈下，土木学会第 73 回年次学術講演会，2018.8

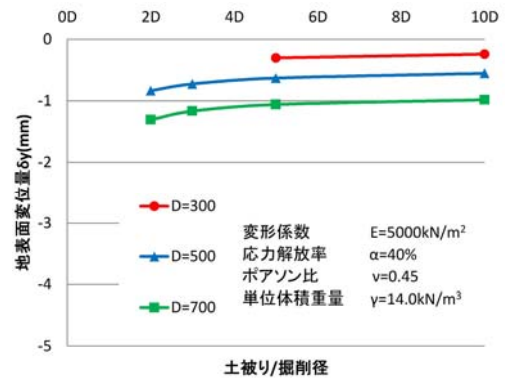


図2 掘削径・土被り～地表面変位の関係

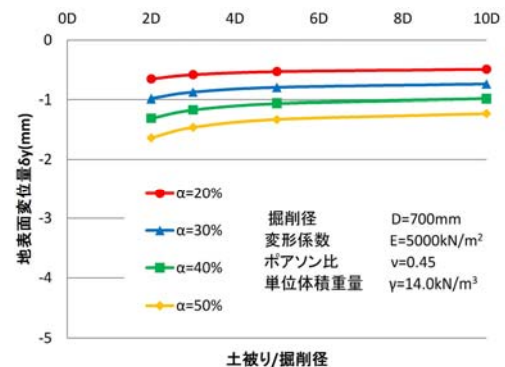


図3 応力解放率・土被り～地表面変位の関係

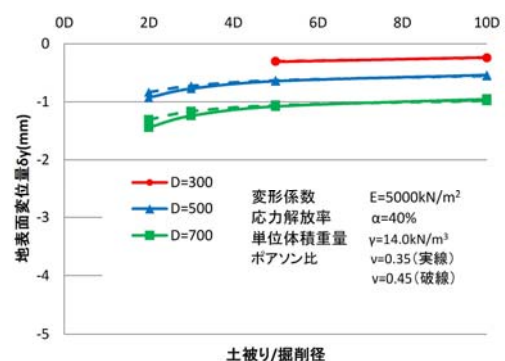


図4 地質（ポアソン比）の影響

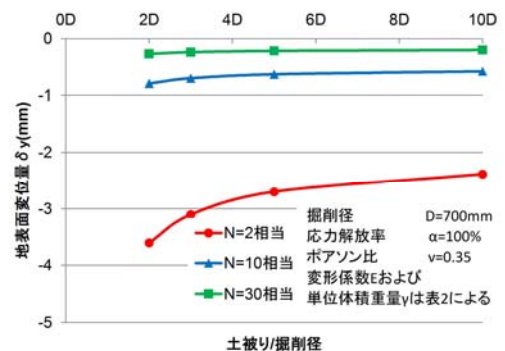


図5 地盤の影響