

深礎掘削における影響範囲の解析的検討

東日本旅客鉄道(株) 東京工事事務所 正会員○大野 啓介
 東日本旅客鉄道(株) 東京工事事務所 正会員 高橋 保裕
 東日本旅客鉄道(株) 東京工事事務所 正会員 金田 淳

1. はじめに

既存の構造物に近接して杭基礎を新設する場合、適切な影響評価を行った上で設計・施工を行う必要がある。特に鉄道は数mm単位で軌道の保守管理を行っているため、影響評価の重要性が高い。

狭隘な鉄道工事の現場では、短い作業間合いの中での深礎工法を選択せざるを得ないことが多い。また、深礎掘削時の影響範囲については他の杭工法に比べ不確定要素が多く、施工時間帯の制限や、計測管理などの対策が必要な範囲がより広く設定されている¹⁾。

しかし、深礎工では地下水位以下では止水薬注など地盤改良を併用し、更に鉄道近接工事ではライナープレート設置後直ちに裏込めを行うため、実際の影響範囲は限定されると考えられる。

本研究では3次元FEM解析により、実際の施工条件を模擬し、周辺影響を確認した。

2. 解析概要

孔壁崩壊に対する安全率と変位を確認するために、2種類の解析を実施した。

1つ目はせん断強度で減法を用いたFEM解析(SSR-FEM)を行うこととした²⁾。これは土の強度定数を任意の安全率Fで除した値をFEM解析に用い、段階的に安全率を増加させ、反復計算が発散した時の値を全体安全率とする手法である。今回は破壊基準はMohr-Coulomb式、塑性ポテンシャルはDrucker-Prager式を用いた。

$$\tau_f = \frac{c}{F} + \frac{\sigma \tan \phi}{F} \quad (式1)$$

τ_f :土のせん断強度, c :土の粘着力, ϕ :土の内部摩擦角

モデル化にあたっては、1/4モデルを設定し、図2のように上載荷重を付与した。掘削深は0m~10mまで2m毎に設定し、5つのモデルを作成した。掘削底部0.5m以外の孔壁の要素にはライナープレートの物性値(E=200kN/m³, ν =0.3)を付与することで、解放面と土留め設置済みの範囲を模擬した。

モデル地盤は表1の通り設定した。改良範囲の設定

に当たっては、孔壁・孔底から1.5mの範囲とし、表層2.0m程度は一般的に薬液注入による改良が難しいため対象外とした。改良域は粘着力 $c=50\text{kN/m}^2$ を付与した³⁾。

表1. モデル地盤の地盤特性値

	層厚(m)	c(kN/m ²)	ϕ (°)	E(kN/m ²)	ν
Lc1	3.0	30	0	4700	0.45
Lc2	4.0	50	0	15100	0.45
Mg	7.0	0	35	62500	0.30
Tos	6.0	10	35	57400	0.30

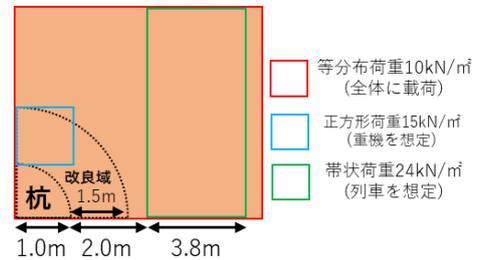


図2. SSR-FEMモデルの荷重条件

また上載荷重として、図2の通り条件を付与した。列車運行時間帯の施工を想定して、列車通過時にかかる荷重を帯状荷重として設定している。

2つ目はFEM解析(3次元弾塑性モデルを用いた静的解析)を行うことで、掘削による地表面への影響(変位量)を確認した。荷重条件、地盤条件、改良域の粘着力はSSR-FEMと同じ条件とし、土留め設置済みの範囲を表現するためにライナープレートの物性値を付与したシェル要素を設定した(図3)。なお、計算を簡素化するために施工ステップは掘削深2m毎に設定し、実際の0.5m深毎の地盤のゆるみは線形近似で評価することとした。

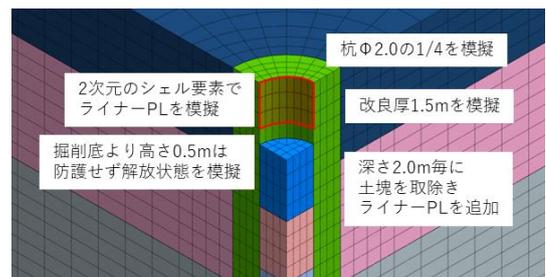


図3. FEMモデルの設定

キーワード 深礎基礎工法, FEM解析, せん断強度減法を用いたFEM解析, 影響評価

連絡先 〒151-8512 東京都渋谷区代々木2-2-6 東日本旅客鉄道株式会社 TEL: E-mail: oono-keisuke@jreast.co.jp

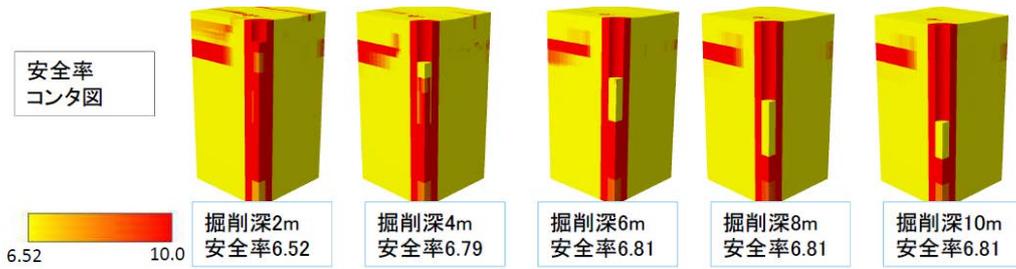


図3. SSR-FEMの結果

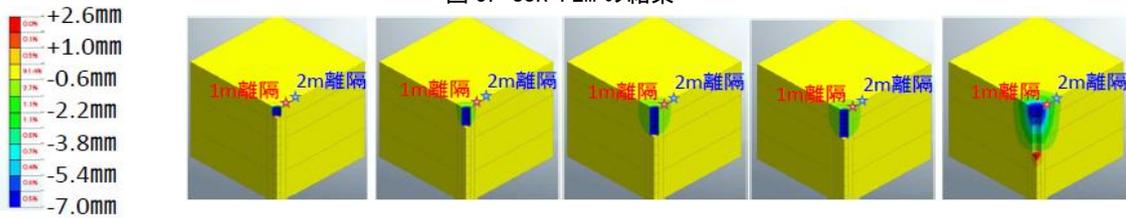


図4. FEMの結果

3. 結果と考察

SSR-FEMによる解析結果では図3の通り、6.0以上安全率を確認できた。例えば東日本旅客鉄道(株)では全体安全率1.35を列車運行時間帯にリバース工法を施工する際の判断基準としており、今回の解析では高い安全率が確認できたと言える。薬液注入効果が十分に発現できる場合、孔壁崩壊リスクは低い事が示唆された。

FEM解析の結果からは、地表面の鉛直変位を確認した(図4, 表2)。これに比較して、例えば東日本旅客鉄道(株)の列車近接工事では多くの場合、高低7.0mm(最高運転速度が95km/hを超える線区における高低の整備基準値 $17\text{mm}^4 \times 0.4 \div 7.0\text{mm}$)を警戒値としている。

今回作成したモデルでは2.0m毎の掘削・土留めを模擬したが、実際にはライナープレート1段(高さ0.5m)毎に行うため、地山のゆるみを正確に評価できていない。そこで、各掘削ステップ間の鉛直変位増加量を確認した。鉛直変位増加量は掘削深度4~6mにおいて最大値を示し、孔壁から1.0m離れた地点で1.0mm程度であった。また、0.5m毎の掘削によるゆるみについては線形近似から推測を行った(図5)。鉛直変位増加量が掘削深度0~10mまで累積した場合、孔壁から1.0m離れた地点の地表面鉛直変位は計10.7mmと警戒値を超える値であった。しかし、ライナープレート1段分掘削した際の鉛直変位増加量は最大1.0mm程度と推測されるため、6段分までであれば変位量は警戒値未満になることが推測される。すなわち、深さ3.0m程度までであれば、列車運行時間帯に掘削作業を行った場合も、夜間軌道整備を行うことで、地表面鉛直変位量を基準値以下に収めたまま施工可能であることが示唆された。

4. まとめ

表2. 解析結果(地表面鉛直変位)のまとめ

(単位: mm)	2m掘削	4m掘削	6m掘削	8m掘削	10m掘削
1m離れ地点	0.49	1.49	2.47	3.38	4.13
(鉛直変位増加量)	0.49	1.00	0.98	0.91	0.75
2m離れ地点	0.29	0.97	1.66	2.32	2.88
(鉛直変位増加量)	0.29	0.68	0.69	0.66	0.56

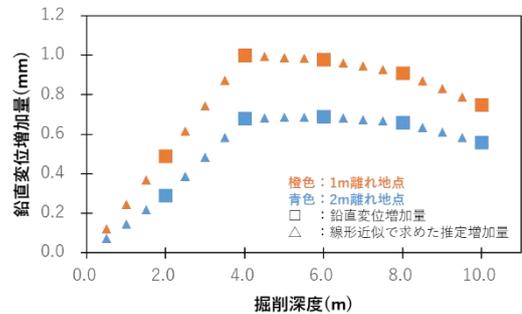


図5. 各掘削深度での鉛直変位増加量

今回、直径2.0mの深礎掘削において、先端0.5mのみが解放されている実際の施工状況をモデル上で模擬し、FEM解析により孔壁崩壊リスクと地表面の変位量を推測した。孔壁崩壊リスクは6.0以上という高い安全率を示し、地表面鉛直変位量は、ライナーリング1段分の掘削ごとに地表面鉛直変位が最大1.0mm程度増加することが示唆された。ただし、今回作成したモデルでは、薬液注入による注入材の充填が確実に実施されたことを前提としていることに留意する必要がある。

営業線近接範囲での深礎掘削が周辺に与える影響について、引き続き検討に取り組む所存である。

参考文献

- 1) 都市部の鉄道構造物の近接施工対策マニュアル, 財団法人鉄道総合技術研究所, p114
- 2) 有限要素法をわかる, 公益社団法人地盤工学会, p68
- 3) 新訂正しい薬液注入工法, 社団法人日本グラウト協会, P24