

軟弱粘土地盤での開削工事における山留め背面地盤変形挙動の分析

山留め 軟弱地盤 数値解析

地域地盤環境研究所 正会員 ○稲垣祐輔
 地域地盤環境研究所 国際会員 畷田孝宏
 地域地盤環境研究所 国際会員 中井照夫
 地域地盤環境研究所(上海岩土工程勘察設計研究院) 蔡永生
 JR 西日本 正会員 吉田晋
 銭高組・西松建設特定建設工事共同企業体 土江徹志

1. はじめに 重要構造物と近接した山留め掘削時において、有限要素解析を実施する必要があるが、軟弱粘土が厚く堆積した開削現場では、線形弾性 FEM 解析は地盤変形挙動を適切に表現することが困難な場合が多い。本稿では、軟弱地盤の特性に着目した弾塑性 FEM 解析を実施し、計測値と解析値の比較から、想定が困難であった山留め背面地盤の挙動を検討した。また、弾性 FEM 解析も実施し、地盤モデルの違いによる変形挙動の差異も考察した。

2. 地盤条件 開削工事現場¹⁾での計測器設置断面図と土質柱状図を図1に示す。検討断面は、N値0~3程度、粘着力39~107[kN/m²]の軟弱な沖積粘性土(Ac2層)が10[m]以上分厚く堆積しているのが特徴的であり、最終掘削底面がこの層の中央深度付近に位置する。

3. FEM解析条件 有限要素メッシュ図を図2に示す。解析条件は平面ひずみ条件で、側方は静水圧条件、底面は非排水条件の水理境界のもと、土~水連成解析を実施した。FEM解析については、弾塑性構成モデル(subloading t_{ij} model)²⁾を用いた弾塑性解析と、地盤モデルのみ変更した弾性解析を実施した。なお、弾塑性 FEM 解析と弾性 FEM 解析の違いによる山留め背面地盤の変形挙動を確認するため、山留め壁に計測値を強制変位として与えて解析した。解析に用いた土質パラメータを表1に示す。弾塑性解析用パラメータについて、粘土層は現場付近で実施した地盤調査結果と代表土層(Ac2-3層)から採取した不攪乱試料による定ひずみ速度圧密試験結果および三軸圧縮試験結果(CU条件)から決定した。要素シミュレーション結果を図3に示す。Ac2-3層以外の粘土層のパラメータは、粒度分布が類似していることからAc2-3層と同じと仮定した。砂層は、試験結果がないため豊浦砂のパラメータ²⁾を仮定した。弾性解析のパラメータは、図3に示す要素シミュレー

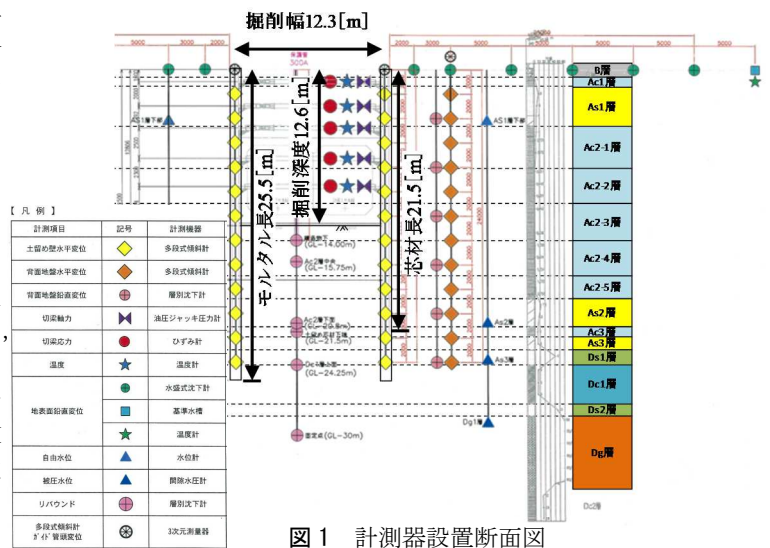


図1 計測器設置断面図

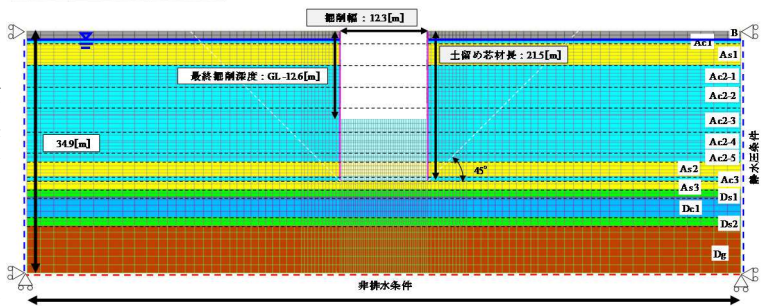


図2 有限要素メッシュ図

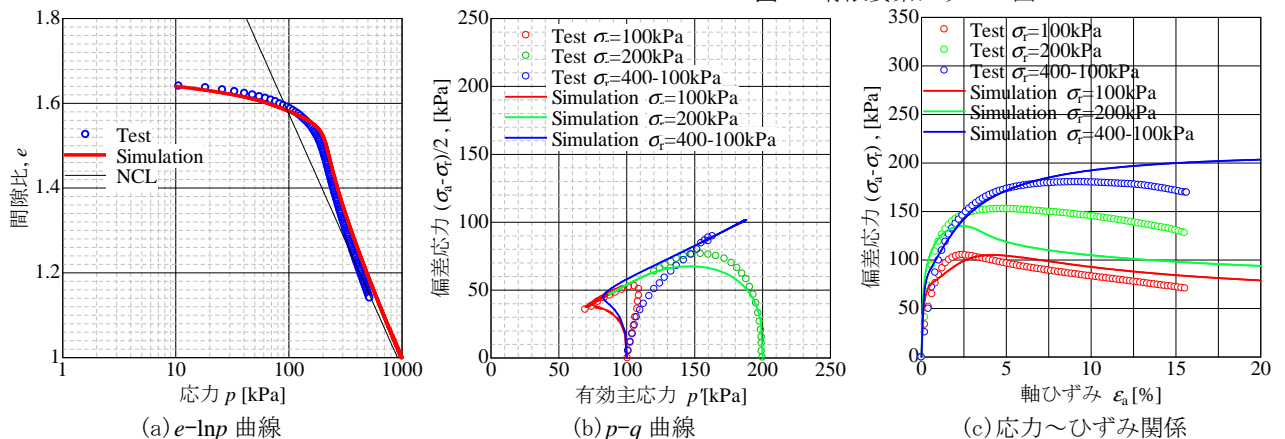


図3 要素シミュレーション結果

Numerical Analysis for Backside Ground Deformation Behavior of an Earth Retaining Wall due to Braced Excavation in soft clay ground : Yusuke Inagaki, Takahiro Konda, Teruo Nakai and Cai Yongsheng (Geo-Research Institute), Susumu Yoshida (West Japan Railway Company), Tetsushi Tsuchie (The Zenitaka Corporation・Nishimatsu Construction Co.,Ltd.)

表1 FEM解析に用いた土質パラメーター一覧表

| 土層名 | 共通情報 | | | | 圧密特性 | | | せん断特性 | | 過圧密特性 | 自然堆積構造特性 | | 初期空隙比 e_{in} | 透水係数 k [cm/s] |
|-------|-----------|---|------|----------------------------------|-------------------|------------------|---------------------|------------------------|----------------------------|------------------------------|-----------------------------|------------|-------------------|----------------------|
| | 層厚 [m] | 単位体積重量 γ [kN/m ³] | 平均N値 | 変形係数 E [MN/m ²] | 圧縮指数 λ | 膨潤指数 κ | 大気圧下の 空隙比 N | 極限状態の 主応力比 Rcs | 降伏曲面形状 パラメータ β | 密度と拘束圧 のパラメータ α | ポソディンク効果を表す パラメータ b | ω_0 | | |
| B | 1.10 | 18.0 | 15 | 1.1 | 0.0700 | 0.0045 | 1.10 | 3.2 | 2.0 | 1.0 | 0.0 | 0.0 | 0.784 | 3.7×10^{-3} |
| Ac1 | 0.60 | 15.0 | 1 | 7.7 | 0.2600 | 0.0100 | 1.58 | 2.7 | 2.5 | 1.0 | 10.0 | 0.8 | 1.035 | 4.5×10^{-7} |
| As1 | 3.10 | 17.0 | 6 | 4.0 | 0.0700 | 0.0045 | 1.10 | 3.2 | 2.0 | 1.0 | 0.0 | 0.0 | 0.851 | 6.2×10^{-3} |
| Ac2-1 | 3.20 | 17.8 | 3 | 10.7 | 0.2600 | 0.0100 | 1.58 | 2.7 | 2.5 | 1.0 | 10.0 | 0.8 | 1.035 | 4.5×10^{-7} |
| Ac2-2 | 3.00 | 16.5 | 0 | 6.0 | | | | | | | | | 1.408 | 3.7×10^{-8} |
| Ac2-3 | 4.00 | 15.7 | 0 | 42.4 | | | | | | | | | 1.522 | 3.7×10^{-8} |
| Ac2-4 | 2.00 | 16.1 | 1 | 51.0 | | | | | | | | | 1.603 | 3.7×10^{-8} |
| Ac2-5 | 1.80 | 16.7 | 1 | 11.6 | | | | | | | | | 1.355 | 4.5×10^{-7} |
| As2 | 2.10 | 18.0 | 10 | 18.9 | 0.0700 | 0.0045 | 1.10 | 3.2 | 2.0 | 1.0 | 0.0 | 0.0 | 0.802 | 3.7×10^{-3} |
| Ac3 | 0.70 | 18.1 | 5 | 17.5 | 0.2600 | 0.0100 | 1.58 | 2.7 | 2.5 | 1.0 | 10.0 | 0.8 | 0.973 | 3.7×10^{-8} |
| As3 | 1.20 | 17.0 | 6 | 18.6 | 0.0700 | 0.0045 | 1.10 | 3.2 | 2.0 | 1.0 | 0.0 | 0.0 | 0.851 | 2.3×10^{-6} |
| Ds1 | 1.10 | 19.0 | 41 | 27.6 | 0.0700 | 0.0045 | 1.10 | 3.2 | 2.0 | 1.0 | 0.0 | 0.0 | 0.691 | 3.1×10^{-3} |
| Dc1 | 2.90 | 15.0 | 6 | 18.7 | 0.2600 | 0.0100 | 1.58 | 2.7 | 2.5 | 1.0 | 10.0 | 0.8 | 0.973 | 6.9×10^{-7} |
| Ds2 | 1.20 | 19.0 | 45 | 31.7 | 0.0700 | 0.0045 | 1.10 | 3.2 | 2.0 | 1.0 | 0.0 | 0.0 | 0.673 | 7.4×10^{-4} |
| Dg | 6.90 | 20.0 | 100 | 42.2 | 0.0700 | 0.0045 | 1.10 | 3.2 | 2.0 | 1.0 | 0.0 | 0.0 | 0.580 | 4.5×10^{-1} |

シミュレーション結果から推定した。初期応力は、砂層と砂礫層は N 値から、粘土層は土粒子密度と乾燥密度から初期空隙比を推定し、地盤内の拘束応力の変化に着目して再現した。なお、山留め壁は梁要素でモデル化し、地盤との間には弾塑性ジョイント要素(壁面摩擦角 $\delta=15^\circ$)で摩擦特性をモデル化した。

4. FEM 解析結果と計測結果の比較・検討 山留め壁背面地盤の変形挙動に関する計測値と FEM 解析値の比較図を図4に示す。

山留め壁から 5[m] 離れにおける最大水平変位量は、計測値では約 16[mm]、弾塑性 FEM 解析結果では約 25[mm] となり、解析値の方が大きかった。特に、地表面付近で解析値の方が大きかったが、掘削底面以深では計測値の挙動を適切に表現できた。

地表面の最大鉛直変位量は、計測値では約 11[mm] の沈下で、弾塑性 FEM 解析結果では約 45[mm] の沈下となり、解析値の方が大きく、最大沈下量を示した山留め壁からの離れは同じであった。これは、弾塑性 FEM 解析における初期地盤の作成段階において、実地盤よりも軟質の設定になっている可能性が原因の一つとして考えられる。一方、弾性解析では最大約 25[mm] の隆起が土留め壁近くで発生するなど、明らかに計測値や弾塑性解析結果と傾向が異なった。

地表面鉛直変位を無次元化した分布図を図5に示す。縦軸は鉛直変位を最大鉛直変位で除しており(1.0の位置で最大変位を示す)、横軸は山留め壁からの距離(左端:山留め壁)となっている。同図より、計測値では山留め壁から 5[m] 離れの位置で最大値を示し、山留め壁から 25[m] 離れの位置でほぼ変位が収束している。弾塑性解析は、このような計測値の挙動を定性的に表現できている。一方、弾性解析は、山留め壁の位置で最大隆起量を示し、山留め壁から離れるにしたがってなだらかな沈下傾向を遠方までおよんでおり、計測結果および弾塑性 FEM 解析結果と明らかに異なる挙動を示した。つまり、山留め壁背面付近に発生する地盤変形挙動は、弾性解析で表現するには限界があり、不等沈下を適切に表現できない場合があることを示唆している。一方、弾塑性解析では、実挙動を適切に表現できることから、有力な事前予測解析手法であると考えられる。

5. おわりに 軟弱粘土が分厚く堆積した開削現場において、地盤モデルの違いのみから生じる山留め壁背面地盤の変形挙動を検討した。その結果、弾性解析では適切に表現することが困難であった山留め壁背面地盤の挙動を弾塑性解析では定性的に表現できることを示した。今後は、初期応力状態を再考し、山留め壁の変位分布を強制変位ではなく、実現場での施工時過程を考慮した荷重モデルを取り入れて再考する予定である。

参考文献 1)吉田晋,丸山達彦,山内雅基,譽田孝宏:軟弱粘土地盤での開削工事における土留め壁変形挙動に関する一考察,第53回地盤工学研究発表会(投稿中)。2)Nakai, T., H. M. Shahin, Kikumoto, M., Kyokawa, H., F. Zhang, and M. M. Farias: A simple and unified three-dimensional model to describe various characteristics of soils, *Soils and Foundations*, 51(6), pp.1149-1168, 2011.

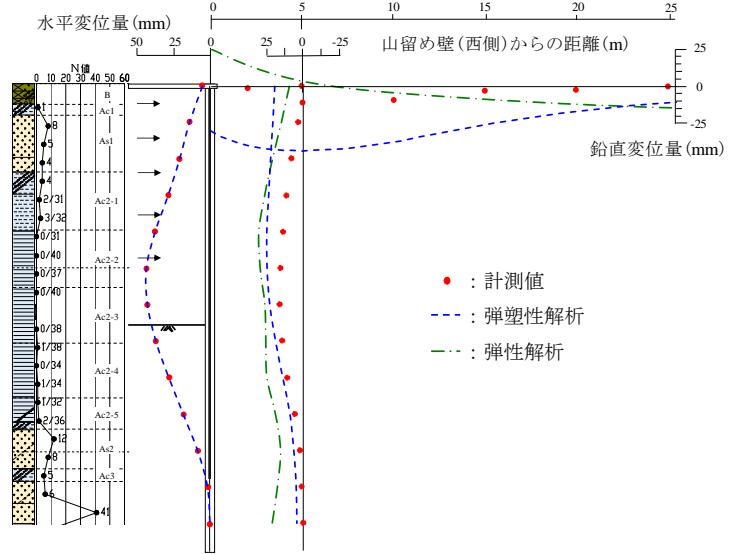


図4 計測値と FEM 解析の比較図

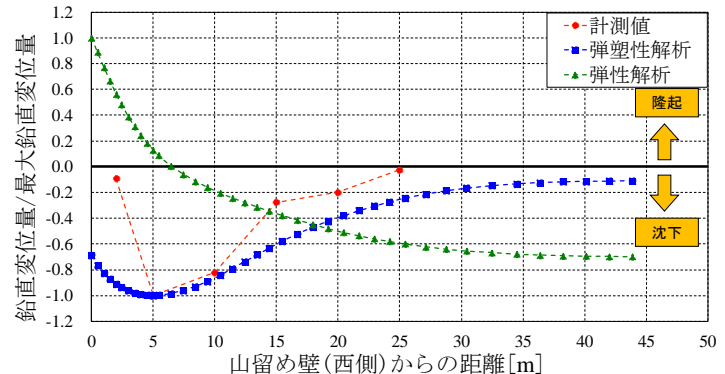


図5 地表面鉛直変位を無次元化した分布図