

粘土地盤を対象とした十字型改良体の鉛直支持力特性に関する三次元 FEM 解析

ハザマ 正会員 浦野和彦, 山田淳夫, 足立有史, 井村英樹, 三反畑勇

1.はじめに

本研究は, 粘性土地盤中に設置された円形および十字型改良体への鉛直载荷実験を対象とした 3 次元弾塑性 FEM による数値シミュレーションにより, 円形改良体と十字型改良体の支持力特性を検討することを目的としている.

2.解析方法

小型土槽による鉛直载荷試験¹⁾²⁾を対象に 3 次元弾塑性 FEM 解析を実施した. 図-1 に FEM 解析に用いたモデルを示す. 改良体の地表面部には実験時と同様に剛な载荷盤を設置している. 境界条件として底面は完全固定, 側面は X および Z 方向を固定とした.

解析に用いた材料パラメータを表-1 に示す. 地盤のモデルは, Mohr-Coulomb の降伏基準を用いた弾完全塑性モデルとした. 地盤モデルの粘着力 C は载荷試験終了後の模型粘土地盤を対象に実施した室内ベーンせん断試験から求め, 弾性係数は $E = 200C$ として粘着力より仮定した. 改良体は円形および十字形の 2 タイプで, 線形弾性体としてモデル化した. 改良体の物性は, 一軸圧縮試験結果より決定した. 载荷は実験時と同様に最大 0.5 kN とし, 10 ステップで計算を実施した. また, 非線形解析法として Newton-Raphson 法を採用し, その際の収束誤差は 0.001 とした. なお, 初期応力は自重解析により別途算出し考慮した.

3.解析結果

(1) 荷重 - 変位関係

図-2 に荷重-変位関係を示す. 解析結果は実験結果と同様に第一限界抵抗力とみなすことができる²⁾ 変曲点が現われる鉛直変位 0.5mm を越える辺りから非線形性が顕著になり, 局所的に地盤が降伏に至っているものと推察される. また, 支持力性能について, 鉛直変位が急激に増加し始める 0.5mm のときの鉛直荷重で比較した場合, 十字型改良は円形改良に対し約 82% (FEM 結果) を発揮する結果となった. この結果から, 円形改良と放射状改良の底面積の比 0.24 を考慮すると, 放射状改良は改良面積に対し効率的な支持機能を発揮していることがわかる.

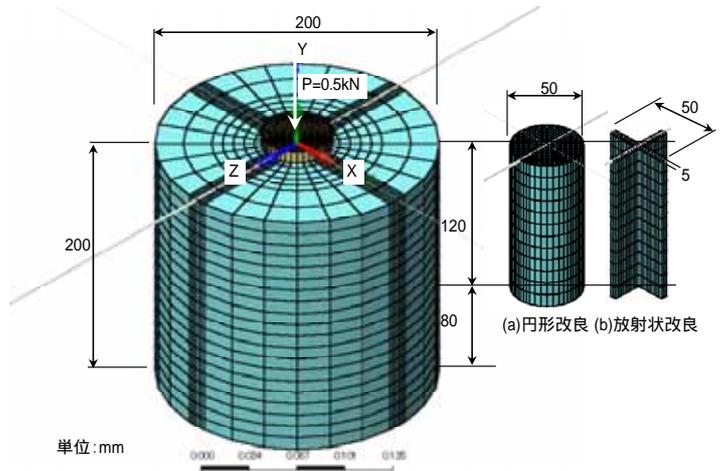


図-1 三次元 FEM モデル

表-1 材料パラメータ

材料種別	地盤 (カオリン粘土)	改良体 (硬化後)
構成則	Mohr-Coulomb 弾完全塑性	線形弾性
単位体積重量 γ_t (kN/m ³)	14	14
ポアソン比 ν	0.33	0.35
弾性係数 E (kN/m ²)	2000	300000
粘着力 C (kN/m ²)	10	1500
内部摩擦角 ϕ (°)	0	0

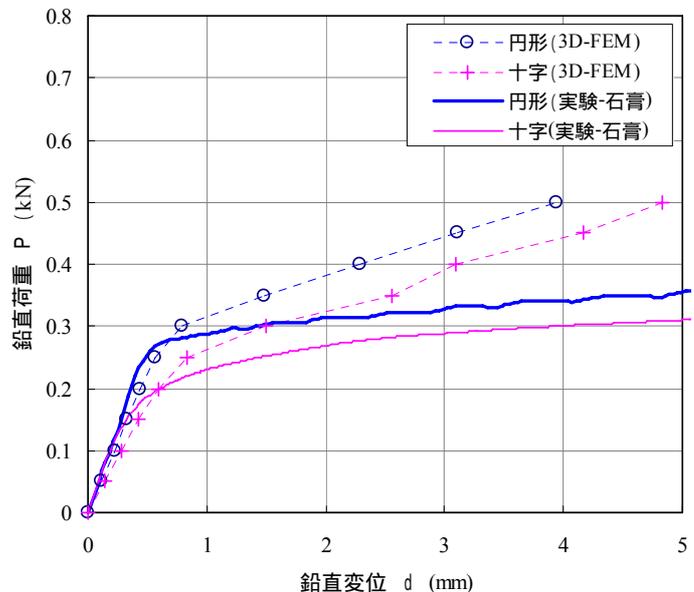


図-2 荷重 - 変位関係 (実験と解析)

キーワード 地盤改良, 鉛直支持力, 高圧噴射攪拌, 3 次元 FEM 解析

連絡先 〒305-0822 茨城県つくば市荻間 515-1 ハザマ技術研究所 TEL:029-858-8813

(2) 支持機能の分析

図-3および図-4に地盤内の鉛直応力 σ_y のコンターを改良体中心断面および改良体下端部平面について示す．円形改良および十字型改良とも改良体下端で鉛直応力が集中しており，その範囲に若干の差異はあるものの，下端部を底辺とするくさび状を呈していることがわかる．いわゆる剛な深い基礎の先端支持機構を考える際の土くさびと同様に剛体的な挙動をしていると考えられる．改良体下端部の平面的な分布を見ると，鉛直応力が集中する領域として円形改良が同心円状に分布しているのに対し，十字型改良では，4方向に広がった十字の先端を頂点とする正方形の形状となっている．すなわち，十字型改良体から基礎地盤に作用する鉛直荷重は十字の腕で囲まれている改良されていない地盤部にも分散，支持されていると判断できる．従って，改良体の支持効果が発揮されていると判断できる有効底面積として，円形断面積 r^2 (r : 半径) に対する十字型先端を頂点とする正方形の面積 ($2r^2$) の比は 0.64 となり，改良体模型の底面積比 0.24 を大きく上回ることになる．

図-5および図-6に Mohr-Coulomb の破壊基準に従った安全率分布を示す．改良体中心断面 ($A'-A'$) の分布形状から，円形および十字型改良ともに改良体底面から土槽底面の範囲と改良体側方で安全率が 1 前後となっており，载荷により地盤にせん断変形が生じた領域を示すものと考えられ，円形と十字型改良では同様な傾向を示している．また，コンターの影響範囲が土槽底面まで及んでいることから，鉛直支持力においては境界の影響が含まれた可能性が高いと判断できる．一方，改良体底面部の安全率分布は，円形改良に比べ放射状改良の影響範囲が大きく，その形状は，正方形に近いものとなっている．

4.まとめ

円形，放射状改良体の载荷試験を対象に 3次元弾塑性 FEM 解析を実施した結果，以下のことを得た．

円形断面と比較した場合，放射状改良体は底面積比を大きく上回る支持力性能を有している．放射状改良体から基礎地盤に作用する鉛直荷重は，十字の腕で囲まれている改良されていない地盤部にも分散されるため，有効底面積を大きく評価できる可能性がある．

参考文献

- 1) 山田淳夫，三反畑勇，足立有史，浦野和彦：粘土地盤を対象とした放射状改良体の鉛直支持力特性に関する基礎的検討 その1：室内模型载荷実験，第44回地盤工学研究発表会登校中，2009.
- 2) 井村英樹，山田淳夫，足立有史，浦野和彦，三反畑勇：粘土地盤を対象とした十字型改良体の鉛直支持力特性に関する室内模型载荷実験，第64回土木学会年次学術講演会投稿中，2009.

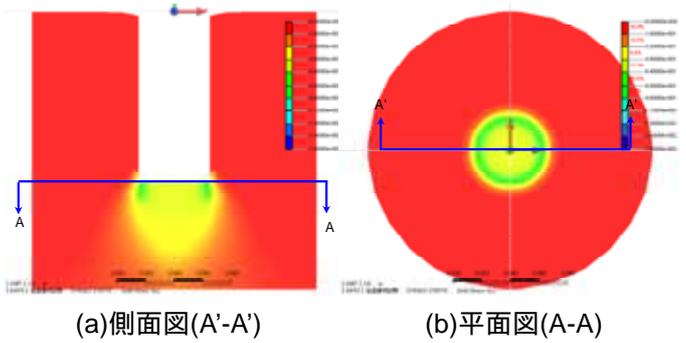


図-3 鉛直応力 σ_y のコンター (円形改良体)

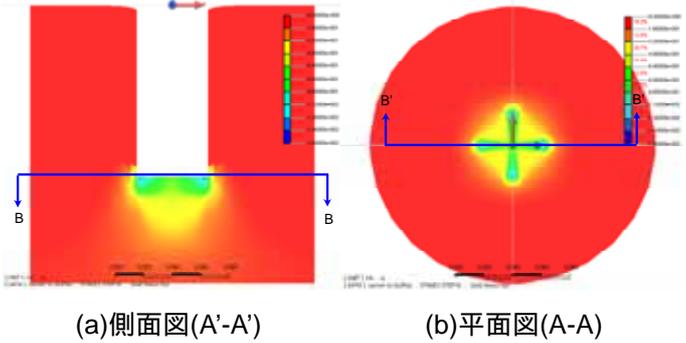


図-4 鉛直応力 σ_y のコンター (十字型改良体)

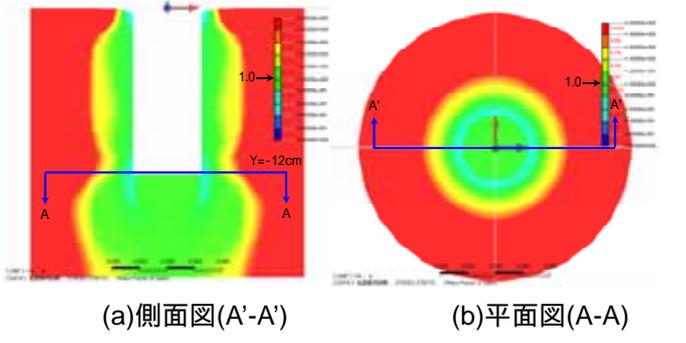


図-5 安全率コンター (円形改良体)

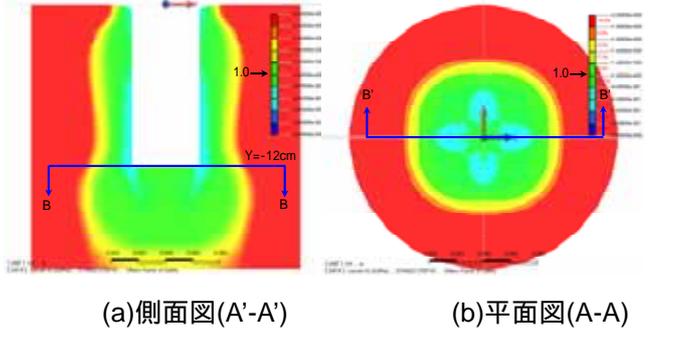


図-6 安全率コンター (十字型改良体)