３次元粒状体マルチスケール解析手法の各種地盤構造解析への応用

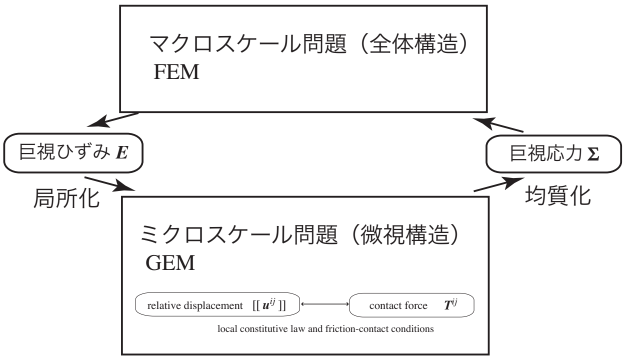
八戸工業大学　学生会員　○寺澤清永・相澤龍弥
八戸工業大学　正会員　　金子賢治
八戸工業大学　フェロー　　熊谷浩二

1.　はじめに

微視的変形特性を反映した地盤構造解析手法として，数学的均質化理論に基づく２次元粒状体マルチスケール解析法が提案され[1)]，より実材料に近づけるためにミクロスケール問題に３次元粒子集合を用いた平面ひずみマルチスケール問題に拡張されている[2)]．粒状体マルチスケール手法はマクロスケールとミクロスケールを連成させて同時に解く手法であり，マクロスケールには有限要素法を，ミクロスケールには粒状要素法を用いている．本文では，3 次元粒状体マルチスケール解析手法を地盤構造物の土圧や支持力問題に適用した例について報告する．

2.　粒状体マルチスケール解析手法の概要

粒状体マルチスケール問題は，マクロスケール問題の仮想仕事式とミクロスケール問題の変分不等式により記述される[1)]．著者らが提案する粒状体マルチスケール解析法では，マクロスケール問題の仮想仕事式は有限要素法を，ミクロスケールの変分不等式を粒状要素法に置き換えて解析する．粒状体マルチスケール解析アルゴリズムの概略を図–**1** に示す．マクロスケール問題は有限要素法により解き，マクロひずみをミクロスケール問題に与える．材料特性を与えるミクロスケール問題は，与えられたマクロひずみを元に粒状要素法を用いて解析し，均質化されたマクロ応力をマクロスケール問題に与える．このように，マクロ応力とマクロひずみが両スケールを関連づけることとなる．



図–**1**　粒状体マルチスケール解析のアルゴリズム

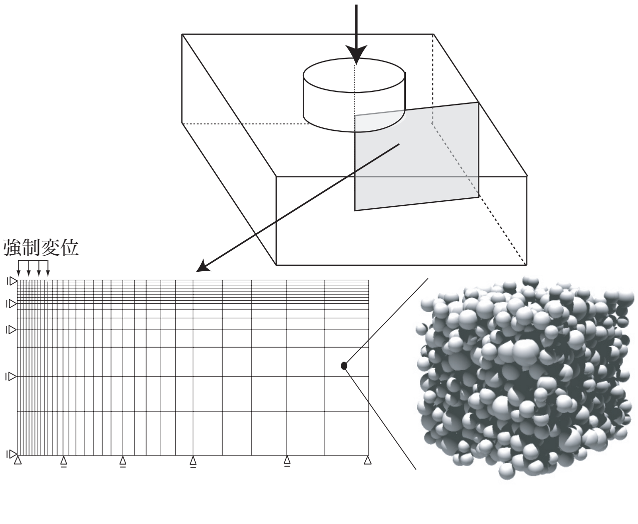
3.　円形フーチングによる支持力問題への応用

(1)　解析の概要

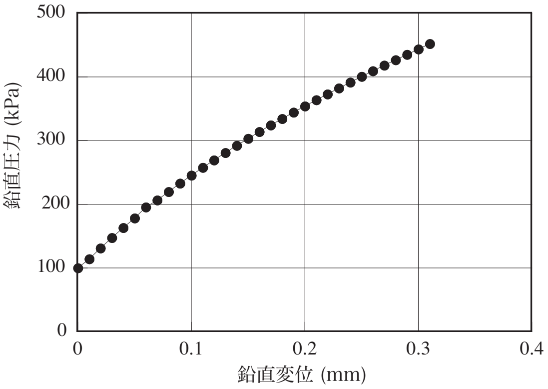
図–**2** に問題のモデル化と解析モデルの概要を示す．円形フーチングの支持力の問題を同図のように軸対称問題としてモデル化し，マクロスケール問題に対して 450 要素の有限要素モデルを作成した．解析モデルは横 600mm ×高さ 300mm の領域を想定している．また，使用したミクロスケール問題の粒状要素モデルは，粒径 0.03-0.06mm の 650 個の粒子を立方体領域にランダムに配置して作成した．解析に用いたパラメータは，接触点における法線および接線方向バネ係数を 50kN/m, 35kN/m とし，粒子間摩擦角は $\phi = 15^\circ$ とした．全ての積分点の粒状要素モデルが等方応力 100kPa によりつり合い条件を満たすように初期状態を作成した．円形フーチング直下であるマクロ有限要素モデルの左上端部分に対し鉛直方向に強制変位を加えることで載荷を行った．

(2)　解析結果

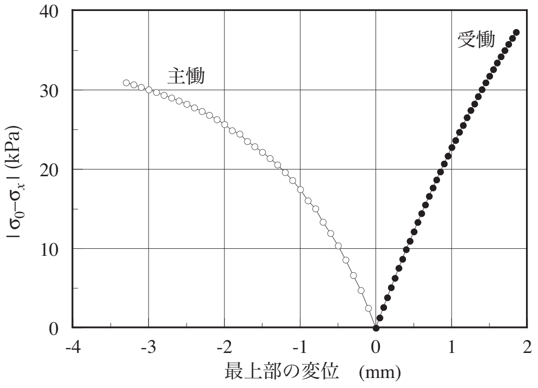
図–**3** に強制変位を加えた部分における解析の結果得られた鉛直変位と鉛直応力の関係を示す．現時点では，解析が終了しておらず最終的な極限支持力は算出されていないが，応力と変位の関係が徐々に傾いていく様子がわかる．



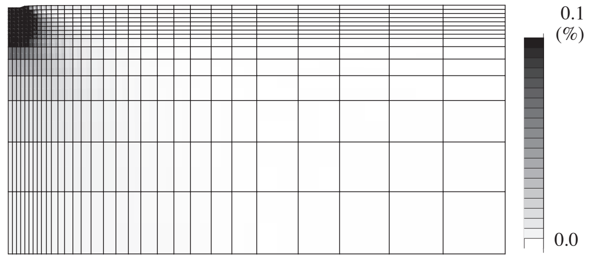
図–**2**　円形フーチングの支持力問題のモデル化



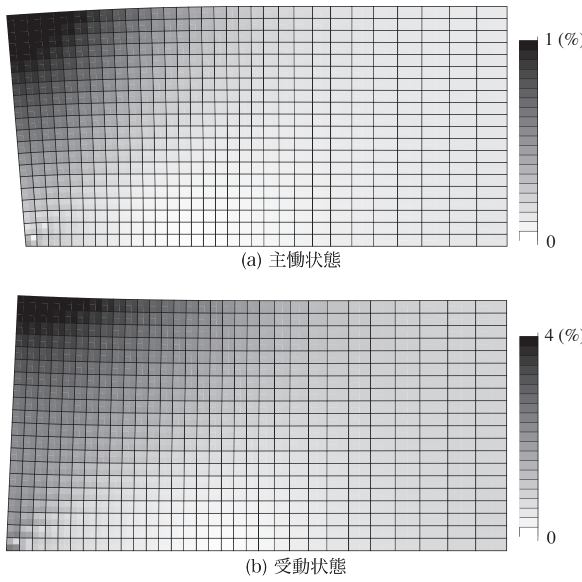
図–3 フーチングの鉛直変位と鉛直圧力の関係



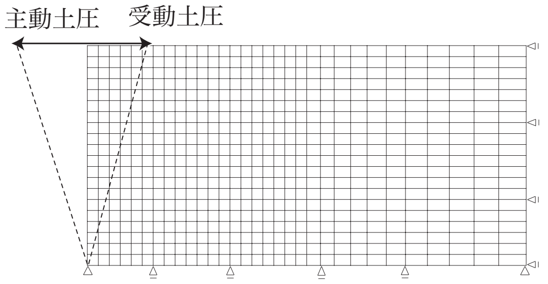
図–6 軸対称支持力編差ひずみグラフ



図–4 マクロ構造の変形後の形状と編差ひずみ分布



図–7 土圧解析における偏差ひずみ分布



図–5 主動・受動土圧解析に用いた有限要素モデル

図–4 には，鉛直変位 0.3mm の時の変形図と偏差ひずみの大きさの分布を示した．フーチング直下に偏差ひずみが大きい部分が存在するが，完全にすべり面が形成されてはいない．今後，計算を進めて検討する必要がある．

4. 主働および受動土圧解析

(1) 解析の概要

ここでは，主動および受動状態を想定した 2 種類の簡単な水平土圧問題へ適用した例について示す．**図–5** に解析に用いたマクロスケールの有限要素モデルを示すが，ここでの解析は平面ひずみ条件で行った．横 800mm× 縦 400mm を想定しており，解析領域の左端に水平方向に強制変位を加えた．境界条件等は同図に示した通りであり，その他の条件は前章と同様である．

(2) 解析結果

図–6 に解析の結果得られた最上部の変位と左端に作用する応力の関係を示す．縦軸の $\|\sigma_0 - \sigma_x\|$ における σ_0 は初期状態の左端の応力，σ_x は左端の節点に作用する水平力の合力 f_x を左端の高さ 400mm で除した値を用いている．同図より，受動状態の土圧の方が大きく現れているといった妥当な結果が得られている．**図–7** には，最上部の水平変位が-3mm および 2mm の場合の変形図と偏差ひずみ分布を示した．受動状態の方が滑り面の角度が緩いといった傾向が観察される．

5. まとめ

本文では，微視スケールを 3 次元問題に拡張した粒状体マルチスケール解析を軸対称の支持力問題，平面ひずみ条件を仮定した主働および受動土圧問題に適用した例について示した．現在解析を継続中であり，詳細な結果は当日発表したい．

参考文献

1) Kaneko, K., Terada, K., Kyoya, T. and Kishino, Y.: Global-local analysis of granular media in quasi-static equilibrium, *Int. J. Solids Struct.*, Vol. 40, pp.4043–4069, 2003.
2) 金子賢治，豊島一也，熊谷浩二：均質化理論に基づく粒状体マルチスケール解析法の平面ひずみ問題への拡張