

III-39

粒状要素法における各種パラメータの影響

八戸工業大学 学生会員 ○加藤賢俊
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

近年、巨視的な構成モデルを用いることなく、粒子の集合体である粒状材料の微視的変形特性を反映した境界値問題の解析手法として、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ている¹⁾。さらに、これを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⁾。マルチスケール解析法はマクロおよびミクロスケール問題を連成して同時に解く解析手法であり、粒状体マルチスケール解析法においてはマクロスケール問題には有限要素法を、ミクロスケール問題には粒状要素法を用いている。通常の有限要素法における構成モデルの役割は周期境界制御粒状要素法によるミクロスケール解析が担うことになる。したがって、粒状体マルチスケール解析の結果は、周期境界制御粒状要素法によって行う微視スケール解析に与えるパラメータに依存する。粒状体マルチスケール解析を実問題に適用するためには、3次元微視スケール解析に与えるパラメータと巨視的な変形特性の関係について十分把握しておく必要がある。粒子間の粘着力がない粒状材料を対象とした微視スケール解析では、粒子の弾性特性を表す法線方向および接線方向の粒子間仮想バネ定数、粒子間摩擦角の3つのパラメータが必要であるが、本研究では、これらの粒子個々に与えるパラメータと粒子集合体の巨視的な物性について数値実験を行って検討する。

2. 数値解析の概要

図-1に本研究に用いた粒状体モデルを示す。粒子間に与える微視的パラメータの解析結果に与える影響を調べることが本研究の主目的であるため、粒径0.0475mmの等粒径の粒状体解析モデルを用いた。1125個の等粒径球要素を立方体領域にランダムに発生させ、等方応力100kPaによりつり合い状態を満足するように作成した。表-1に本研究で行った数値実験の各ケースのパラメータを示す。ケース1は法線方向仮想バネ定数 k_n と接線方向仮想バネ定数 k_t の比 k_t/k_n を変化させ、接線方向仮想バネ定数の影響を調べるものであり、ケース2は法線および接線方向バネ定数の比は一定とし、これらの大きさのみを変化させた場合である。

全てのケースにおいて、 $\Delta\sigma_{xx} = \Delta\sigma_{yy} = 0$ として側圧を一定に保ち、 z 方向のひずみ増分 $\Delta\epsilon_{zz}$ を与えることで側圧一定3軸圧縮試験を行った。

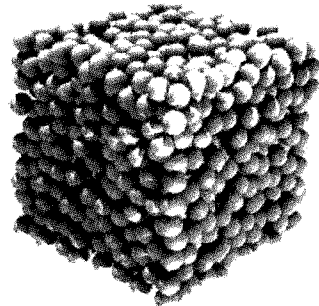


図-1 粒状体解析モデル

表-1 解析条件

ケース番号	k_n (kN/m)	k_t (kN/m)	ϕ (°)
ケース 1-1	50	10	15
ケース 1-2	50	20	15
ケース 1-3	50	30	15
ケース 1-4	50	50	15
ケース 2-1	10	6	15
ケース 2-2	60	36	15
ケース 2-3	100	60	15

3. 解析結果とその考察

(1) 接線方向バネ定数の影響について

図-2にケース1-1~1-4の解析結果を示す。図-2(a)は軸ひずみと応力比の関係、(b)は軸ひずみと体積ひずみの関係を示している。同図より、多少の違いはあるが、どのケースにおいても全般的にはほぼ同様の軸ひずみ-応力比関係、軸ひずみ-体積ひずみ関係が得られている。軸ひずみ-応力比関係より、接線方向バネ定数が大きくなるほどせん断初期の傾きが大きくなるのがわかるが、これはバネ定数の大きさが大きくなるためである。また、接線方向バネ定数に関係無く応力のピークはほぼ一定の値を示している。

次に、载荷初期段階での弾性的な特性をより詳細に調べるために、最初の1ステップの応力増分とひずみ増分を用いてヤング率とポアソン比を求めた。図-3に法線方向バネ定数と接線方向バネ定数の比とヤング率、ポアソン比の関係を示す。接線方向バネ定数を大きくするとバネ定数の大きさも大きくなるので、粒子集合体の巨視的なヤング率も大きくなる。ポアソン比は接線方向バネ定数と法線方向バネ定数の比を変化させることで大きく変わり、接線方向と

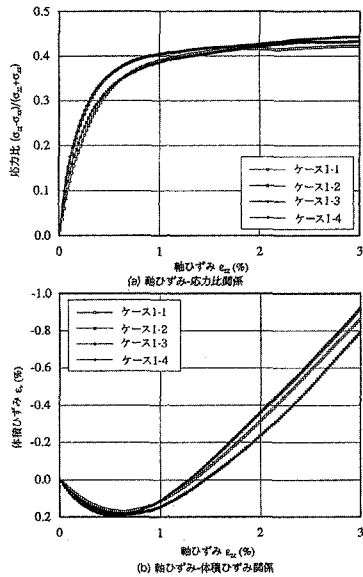


図-2 応力ひずみ曲線 (ケース 1)

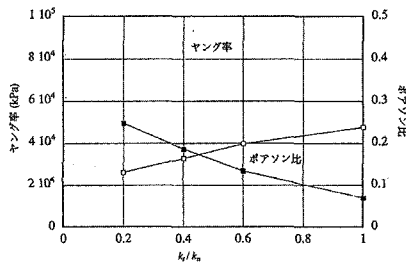


図-3 バネ定数の比と弾性定数の関係

法線方向のバネ定数が大きくなるとポアソン比は線形的に小さくなるのがわかる。バネ定数比を小さくするとポアソン比が大きくなるが、バネ定数比 0.2 でもポアソン比は 0.25 程度である。また、DEM を用いて行った検討においては、バネ定数比が 0.2 で約 0.3~0.45 のポアソン比が算出されており³⁾、解析手法によってかなりの違いがあることがわかった。

(2) バネ定数の大きさの影響について

図-4 にケース 2-1~2-3 およびケース 1-3 の解析結果を示す。法線方向バネ定数が 10kN/m の場合にはその他のケースと大きく異なる挙動が現れている。特に体積ひずみ-軸ひずみ関係は大きく異なり、その他のケースが密な砂のような挙動を示すのに対して、緩い砂のような挙動を示す。その他のケースは非常に類似した結果を示した。特に、バネ定数の大きさを変化させても応力のピークはほぼ同じであり、強度には殆ど影響を与えないことがわかる。

図-5 にバネ定数の大きさとヤング率、ポアソン比の関係を示す。同図より、バネ定数の大きさに比例してヤング率

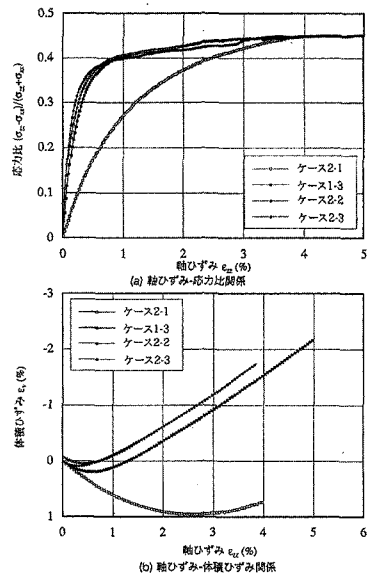


図-4 応力ひずみ曲線 (ケース 2)

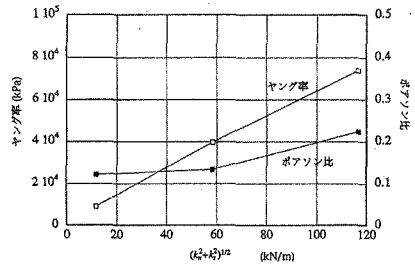


図-5 バネ定数の大きさと弾性定数の関係

が大きくなること、ポアソン比はそれほど変化しないことがわかる。

4. まとめ

本文では、粒状要素法における粒子間パラメータと粒状材料のマクロな力学定数との関係について検討を行った。その結果、周期境界制御 3 次元粒状要素法においては、バネ定数比はポアソン比に大きく影響を与え、バネ定数の大きさがヤング率に影響を与えることがわかった。また、DEM など手法の違いにより異なった結果が得られる可能性があることがわかった。現在、粒子間摩擦角やその他の条件設定を変更して計算を実施しており、より詳細な検討結果については当日発表したい。

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, 第 50 回地盤工学シンポジウム論文集, pp.183-190, 2005.
- 3) 榊原辰雄, 上山誠司: 捨石材を用いた DEM パラメータの検討, 第 40 回地盤工学研究発表会概要集, pp.911-912, 2005.