

Ⅲ - A27

個別要素法による楕円要素の2軸圧縮試験に対するシミュレーション

東電設計株式会社 ○正会員 茂木 寛之
東電設計株式会社 正会員 中瀬 仁

1 まえがき 粒状体の変形を議論する際には偶応力を考慮する必要がある、偶応力は個々の粒子の回転及び粒子接点で伝達されるモーメントと密接な関係があると考えられている。岩下らは、円形要素を用いた個別要素法による平面ひずみ圧縮試験を行った結果¹⁾、実際の砂の平面ひずみ圧縮試験で観察される①急激なひずみ軟化、②明瞭なせん断帯の形成、③最大間隙比を越える空隙の発生及び④せん断帯内部の要素の系統的な回転等を再現するためには、粒子間接点においてモーメント伝達を考慮する必要があると述べている。一方、Oda, *et al*²⁾による楕円要素を用いた2軸圧縮実験では、急激なひずみ軟化の後せん断帯が形成され大きな間隙が発生する様子が観察された。筆者らはこれらの現象を引き起こす要因は要素の形状にあると考えている。本研究では、文献2)の実験を対象に接点モーメントを考慮しない個別要素法を用いてシミュレーションを行った結果について報告する。

2 解析モデルの作成 Odaが実験で使用した供試体の写真を用いて726個の要素位置をデジタイズした。粒子形状は正確にはオーバル形であるが、ここでは楕円で近似した。この要素位置を基準として全要素に重力を徐々に加えながら自然落下させ最初のパッキングをした。この後、粒子間摩擦角(ϕ) 26° の条件でパッキングしたゆるい供試体、及び粒子間の摩擦角を徐々に小さくしてパッキングした密な供試体の2種類を作成した。それぞれに対するシミュレーションをケース1及びケース2と呼ぶ。供試体の左右の境界は定応力境界とし、上端の境界を強制変位することにより載荷した。小田らが実験で用いた光弾性材料であるポリウレタンラバーは、アルミ等と比べると非常に柔らかいことがわかっている。しかし、バネ係数をどの程度の値にするのが適当か不明なのでパラメトリックスタディを兼ねて2つのケースでそれぞれ異なる値を設定した。材料定数及び解析条件を表-1に示す。ケース1は、ゆる詰めでバネ定数が大きく、ケース2は、密詰めでバネ係数の小さい供試体である。

3 平面ひずみ2軸圧縮試験のシミュレーション Odaの実験とシミュレーションを、応力比(σ_1/σ_2)—軸ひずみ(ϵ_1)の関係について図-1、体積ひずみ(ϵ_v)—軸ひずみの関係について図-2に比較する。シミュレーションにおいては、バネ係数が大きいケース1は小さい軸ひずみレベルでピークに達した。これは図-2において、小さい軸ひずみレベルで体積ひずみが最小となることと対応している。応力比のピーク値はいずれも実験値を下回るものの、円形要素を用いた通常のシミュレーション結果、応力比3(文献1))を大幅に上回っている。また、急激にひずみ軟化する傾向を、特に密でバネ係数が小さいシミュレーションにおいて再現できた。

小田らが実験で用いた供試体の初期状態を図-3に、軸ひずみ2.5%時の状態を図-4に示す。ケース2の初期状態を図-5に、軸ひずみ4.0%時の状態を図-6に示す。これらを互いに比較すると、実験と同様にシミュレーションにおいても粒子間の間隙がかなり大きく拡大している様子がわかる。さらに「柱」状の構造についても実験程明瞭ではないものの観察することができる。

4 あとがき 楕円形状の要素を用いたシミュレーションは急激なひずみ軟化、せん断帯内の大きな間隙の発生について、Odaらの実験をよく再現することができた。埼玉大学小田匡寛教授には、実験の写真を提供して頂きました。ここで感謝の意を表します。本研究で用いた個別要素法のプログラムは、京都大学澤田純男助教授の開発したDEMSである。

参考文献 1)岩下和義,柿内俊秀,小田匡寛:第46回応用力学連合講演会,平成9年 2)M.Oda,S.Nemat-Nasser&J.Konishi:STRESS-INDUCED ANISOTROPY IN

GRANULAR MASSES, SOILS AND FOUNDATIONS, VOL.25, NO.3, 85-97, 1985

キーワード:楕円、せん断、柱、ひずみ軟化 連絡先:〒110 東京都台東区東上野3丁目3番3号 東電設計上野センター技術開発本部 茂木寛之 TEL: 03-5818-7791, FAX: 03-5818-7608

表-1 材料定数及び解析条件

	ケース1	ケース2
要素数	726	
長軸/短軸	16.0/11.3	10.7/7.4 7.1/4.9
法線方向バネ係数(N/m)	3.3×10^8	5.874×10^4
接線方向バネ係数(N/m)	3.3×10^5	5.874×10^4
単位体積重量(kg/m ³)	24.0	21.0
粒子間摩擦角(°)	26.0	
載荷時境界の摩擦角(°)	10.0	10.0
拘束圧(Pa)	199.0	141.0
時間間隔(s)	1.0×10^{-5}	1.0×10^{-5}
圧縮速度(%/s)	1.0	1.0

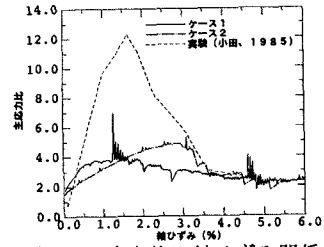


図-1 応力比-軸ひずみ関係

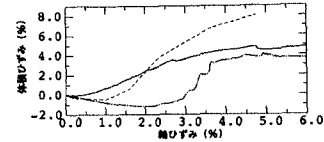


図-2 体積ひずみ-軸ひずみ関係

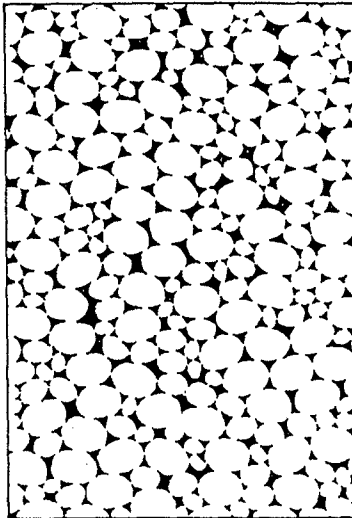


図-3 実験, 初期状態 (小田,1985)

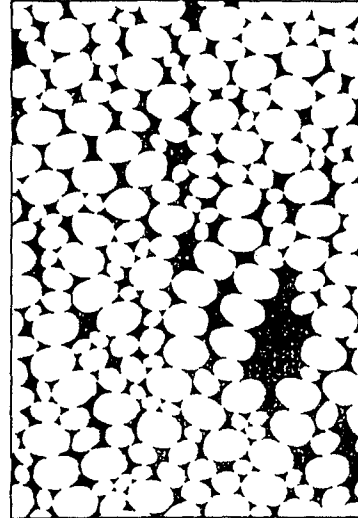


図-4 実験, 軸ひずみ 2.5 % (小田,1985)

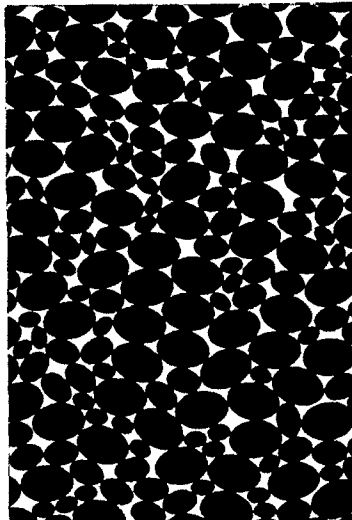


図-5 ケース2, 初期状態

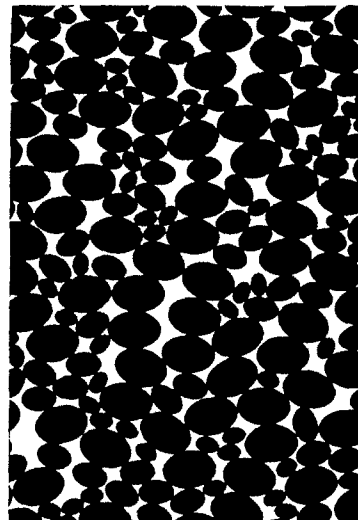


図-6 ケース2, 軸ひずみ 4.0 %