

DEM による粒状材料の繰返し載荷時の応力誘導異方性

名古屋工業大学 学生員 ○大野了悟
 名古屋工業大学 学生員 櫻井崇之
 名古屋工業大学 正会員 前田健一

1 はじめに

粒状材料の非線形挙動は巨視的な変形に伴う内部の微細構造の変化やその安定性に支配されている¹⁾。既報では、密度と拘束圧の依存性について再現されている。また、単調載荷下では、主応力比 (σ_1/σ_2) の増加にともなってファブリックテンソルの主値比 (F_1/F_2) が増加し最大主応力方向に異方性が発達し、代表的関係は次式のべき関数で近似できることがわかった¹⁾。

$$F_1/F_2 = (\sigma_1/\sigma_2)^{0.5} \cdot \dots \cdot (1)$$

このような関係は修正応力の変換概念に用いられている²⁾。本報告では二次元個別要素法を用いて二軸圧縮試験を実施し、繰返し載荷試験下の異方性の発達について調べた。内部構造の変化を異方性の尺度であるファブリックテンソル^{2),3)}を用いて表した。また、粒子間の接点力の大きさと動員摩擦角に閾値を設け、接触構造の安定度によって異方性の発達程度の違いについても調べた。

2 解析方法

本解析では通常の円形粒子だけではなく、同径の円形粒子を3個結合した非円形粒子を用いることで、土の圧縮性や延性的性質の表現を可能にしている¹⁾ (詳細は既報を参照)。また、バネ定数は一定とし、応力の変化に伴う構造を観察するために無重力下で解析した。本報告では、非円形粒子のゆる詰と密詰

の場合について、側圧一定二軸圧縮下の繰返し載荷試験結果を示す。

また、二次元のファブリックテンソル F_{ij} ($i,j=1,2$) の主値テンソルを F_1, F_2 とする。主値の比 (F_1/F_2) が大きいほど、構造の異方性度合が大きい。

3 解析結果および考察

3.1 安定度の異なる接触構造の異方性の発達度

接触構造の安定度について動員摩擦角 ϕ_c と接点力 f_c の大きさに着目して調べるために、 $r_{mc} = |\tan \phi_c| / |\tan \phi_\mu|$ と $r_{fc} = |f_c| / |f_{cave}|$ を導入した (ϕ_μ は粒子間摩擦角、 f_{cave} は平均接点力)。ここで、 r_{mc} が十分小さければ接触構造は滑りに対して安定であり、 $r_{mc} = 1.0$ のとき滑り状態にある。また、 $r_{fc} \geq 1$ の接点に着目することは、平均接点力以上の大きな接点力を伝える構造についてのみ考えることに相当する。図-1(a) は供試体内の滑り状態にある接点を含む全ての接点について、接点力の違いによる異方性の発達度合の違いを示している。図中には F_1/F_2 と (σ_1/σ_2) のべき関数をべき乗が 0.5, 1.0, 2.0 の場合について描かれている。図から、より大きな接点力を伝える構造ほど異方性の発達度合は大きいことがわかる。

次に、図-1(b, c)は、それぞれ、粒子接点間の滑りに対する安定度の違う異方性の発達を接点力が限りなく 0 に近い接点をも含む場合と平均接点力以上の接点について示している。両結果から、滑りに対す

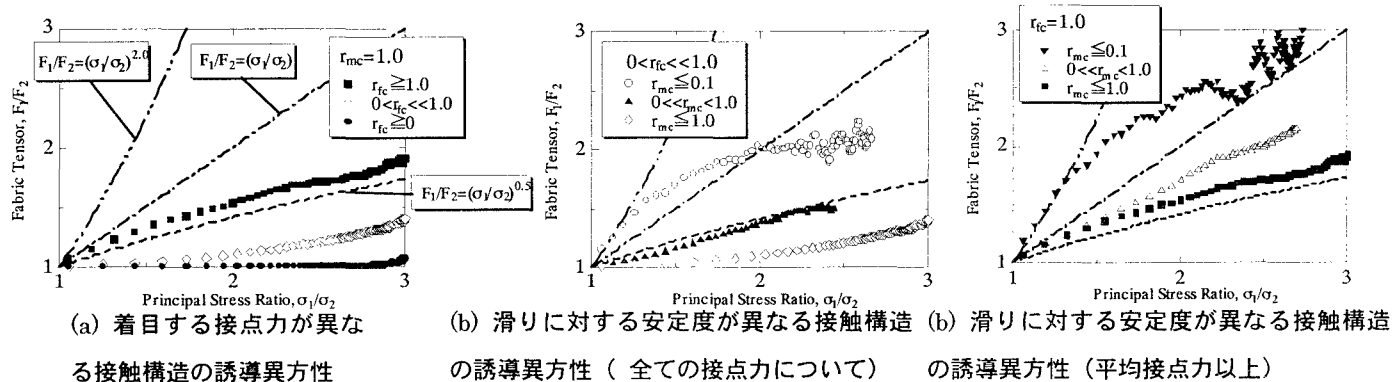


図-1 安定度が異なる接触構造の誘導異方性：側圧一定単調載荷

る安定性が高い接触構造ほど異方的に発達していることがわかる。以上のことから、より大きな接点力を伝え、滑りに対して安定な接触構造は常に高い誘導異方性を有していることがわかった。以後、物理的意味を鑑みて閾値を $r_{mc} < 1.0$, $0 < r_{fc}$ とした。

3.2 繰返し載荷時の異方性の発達度

図-2(a, b)と図-3(a, b)は、それぞれ、ゆる詰めと密詰め
めの供試体について両振りの繰返し試験の結果について示している。振幅は応力比 $\tau_m/\sigma_m=0.05$ から 0.6 まで 0.03 ずつ増加させた。図-2 のゆる詰めでは繰返し載荷によって圧縮が進行し、図-3 の密詰めでは応力比が高くなると膨張していることがわかる。また、図-4(a-c)は、それぞれ、密詰め供試体の繰返し載荷時の再載荷過程、処女載荷過程、除荷過程について異方性度 (F_1/F_2) の変化を主応力比 (σ_1/σ_2) に対して示している (図中の Cycle 1 - 5 は繰返しの経路を意味する。図-3 参照)。処女載荷・再載荷過程では、除荷応力の大きさ (繰返し経路) に関わらず同一の関数で近似できるようである。ほぼ図中の破線の勾配に沿って異方性が発達しているようである。除荷開始直後で顕著な異方性の低下がみられた後、ゆるやかに構造が等方的にもどることがわかる。今後、除荷時における粒状材料の弾性挙動について検討する。

参考文献: 1) 桑原直範、大野了悟、前田健一: DEM による粒子形状の異なる粒状材料の変形・破壊挙動内部構造の変化の解析, 応用力学論文集, Vol.3, pp.469-480, 2000. 2) Teruo Nakai And Yasuji Mihara; A New Mechanical Quantity For Soils And Its Application To Elastoplastic Constitutive Models, Soils And Foundations Vol.24, No.2, pp.82-94, 1984. 3) 佐武正雄; 粒状体における誘導異方性と修正応力について, 第 33 回地盤工学研究発表概要集, pp549-550, 1998. 4) 粒状体の力学, 土質工学会, pp.75-91.

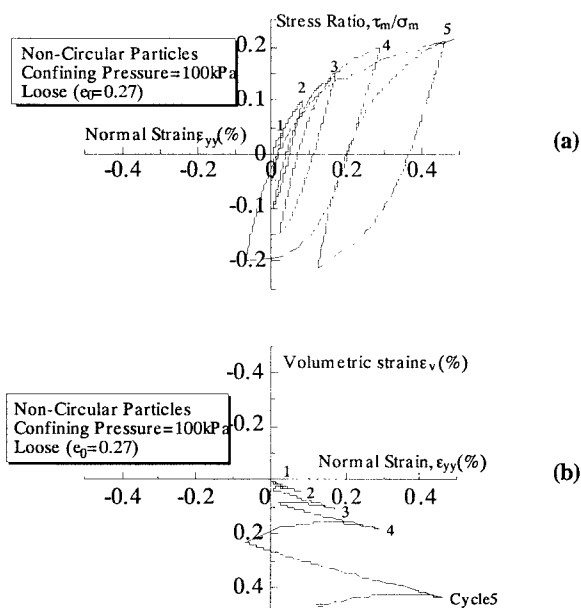


図-2 繰返し載荷試験結果 (ゆる詰め); (a) 応力ひずみ, (b) ダイレイタンス

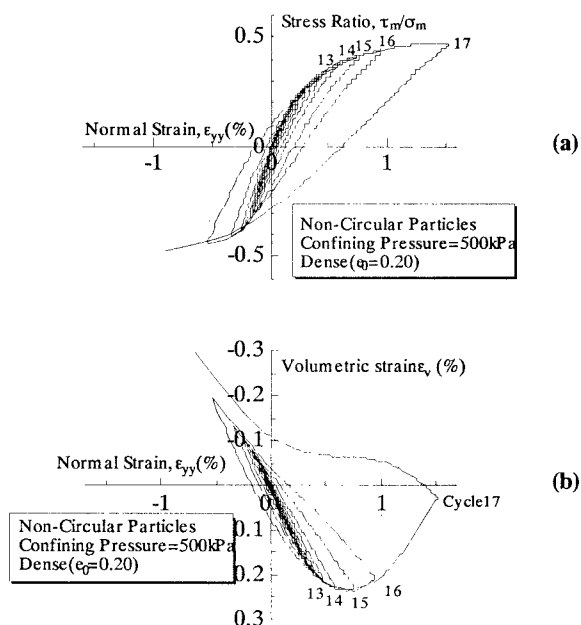


図-3 繰返し載荷試験結果 (密詰め); (a) 応力ひずみ, (b) ダイレイタンス

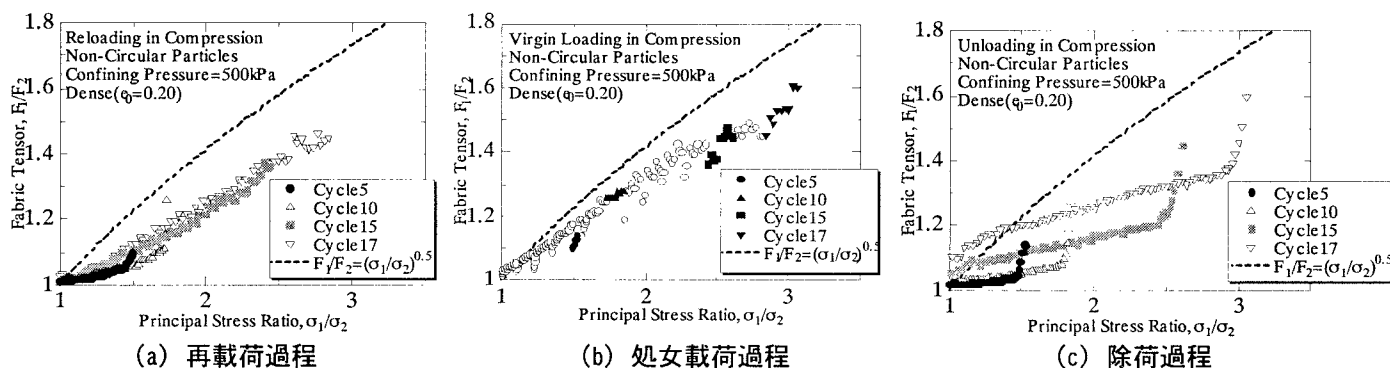


図-4 繰返し載荷試験下でファブリックテンソルの変化 (密詰め)