

DEMによる繰返し載荷時の異方性と配位数の変化

名古屋工業大学 学生員 櫻井崇之

名古屋工業大学 学生員○大野了悟

名古屋工業大学 正会員 前田健一

1 はじめに

粒状材料の顕著な非線形挙動は、巨視的な変形に伴い変化する微細構造の発達・消滅に支配される。よって、粒子の接触関係で形成されている微細構造の変化にしたがう異方性の発達やその安定性と巨視的な挙動との関係を明らかにすることは力学モデルの構築のためにも不可欠である¹⁾。

既報^{2,4)}において接点の安定度の違いによる接触構造の変化について検討している。動員摩擦角 ϕ_c と接点力 f_c について $r_{mc} = |\tan\phi_c|/|\tan\phi_\mu|$ と $r_{fc} = |f_c|/f_{cave}$ を導入した（ここで、 ϕ_μ は粒子間摩擦角、 f_{cave} は平均接点力である）。本報告では、物理的意味を考慮して、接触状態にあるが力を伝達していない接点（ $f_c=0$ ）と、滑り状態にある接点（ $r_{mc}=1$ ）を除いた接触構造（ $0 < r_{fc}, 0 \leq r_{mc} < 1$ ）に着目した。また、個別要素法（DEM）による単調載荷試験の結果において、主応力比（ σ_1/σ_2 ）とファブリックテンソル²⁾の主値比（ F_1/F_2 ）との代表的な関係はべき関数

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

で近似できることがわかっている³⁾。また、側圧一定二軸圧縮排水試験下における応力制御による両振り繰返し載荷試験結果を、構造の安定性を考慮した配位数 N_c とファブリックテンソル主値比の指標を導入して整理している⁴⁾。

本報告では、側圧一定二軸圧縮排水試験下における両振り繰返し載荷試験をひずみ制御で行い、その結果を前述したように接触構造（ $0 < r_{fc}, 0 \leq r_{mc} < 1$ ）に着目して、配位数とファブリックテンソル主値比の指標を用いて検討した。

2 解析方法

本解析では砂のような粒状材料を対象とし、マクロな変形に伴う供試体内部の幾何学量の変化に着目するために個別要素法（DEM）を用いた。通常用いている円形粒子ではなく、円形粒子3個を結合した非円形粒子

を用いることで、粒状材料の圧縮性や延性的性質の表現を可能にしている³⁾。

3 解析結果

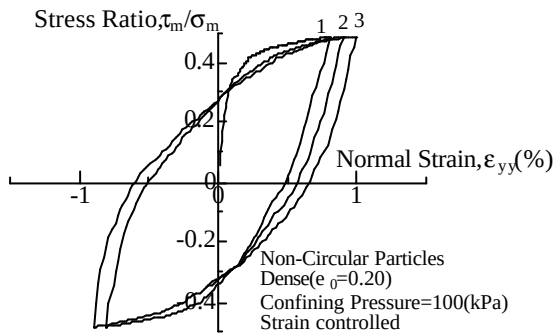
図-1(a, b)と図-2(a, b)は、それぞれ、非円粒子を用いた密詰めと緩詰め供試体を側圧一定二軸圧縮排水試験下でひずみ制御により両振り繰返し載荷試験した時の応力ひずみ関係とダイレイタンシー挙動を示している。振幅は垂直ひずみ ε_{yy} を0.8, 0.8, 0.9, 0.9, 1.0, 1.0(%)と変化させている。ここで、 $\sigma_m = (\sigma_{yy} + \sigma_{xx})/2$ は平均主応力、 $\tau_m = (\sigma_{yy} - \sigma_{xx})/2$ は最大せん断応力である。図-1の密詰めの場合は応力比が高くなると膨張し、図-2の緩詰めでは繰返し載荷によって締固めのように圧縮が進行しているのがわかる。実際の砂同様の繰返し載荷時の非線形挙動が再現されている。

図-1(c, d)と図-2(c, d)には密詰めと緩詰め供試体による試験のせん断初期における載荷・除荷部分の異方性の変化と配位数の変化を示した。図(c)は主応力比（ σ_1/σ_2 ）とファブリックテンソル主値比（ F_1/F_2 ）の関係を、図(b)は主応力比（ σ_1/σ_2 ）と配位数 N_c （一粒子当たりの平均接点数）の関係を示している。ここで、ファブリックテンソルの主値比（ F_1/F_2 ）が大きい程、構造の異方性度合いが大きく、配位数 N_c が少なくなると接触構造は疎になり、供試体全体として不安定化する。

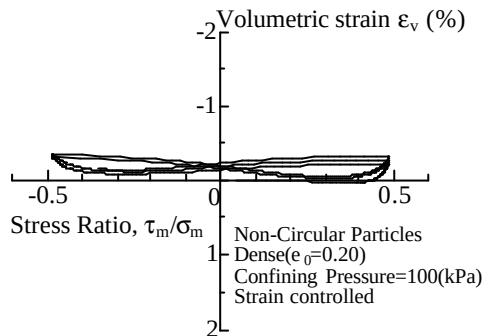
図(c)より、載荷に伴い前述のべき関数(式(1))をほぼ満足しながら異方性が発達しているのがみられる。また、除荷初期に異方性が急激に低下し、さらに除荷が進むと異方性は緩やかに低下しつつ等方的な構造へと戻っている。除荷時の主応力比によらずほぼ同様な形のヒステリシスな曲線となることを確認している。応力誘導異方性は主応力比の関数として表現され、（ σ_1/σ_2 ）-（ F_1/F_2 ）関係に（ F_1/F_2 ）の上限値と下限値を表すべき関数が存在し、式(1)がほぼ上限値を示している。図-(d)より、載荷とともに N_c は減少する。除荷初期には、急激に N_c は増加するが、その後は N_c は減っていくのが

キーワード 異方性, 個別要素法, 構造, 配位数, 粒子形状

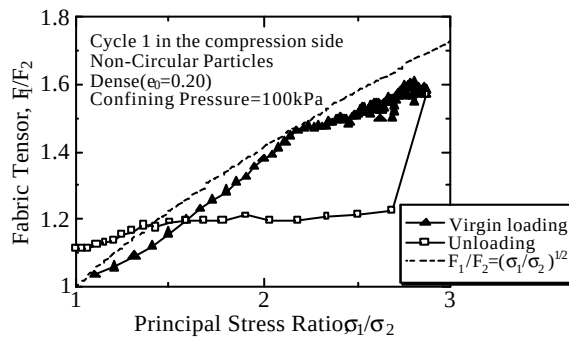
連絡先 〒466-8555 名古屋市昭和区御器所町 名古屋工業大学 Tel. & Fax. 052-735-5497



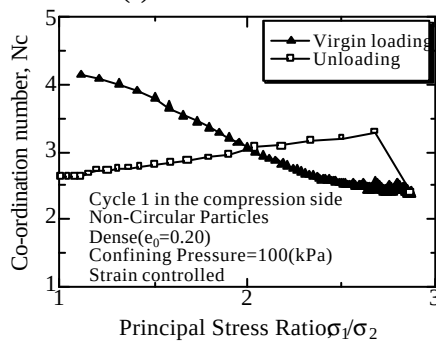
(a)応力ひずみ関係



(b)ダイレイタンス

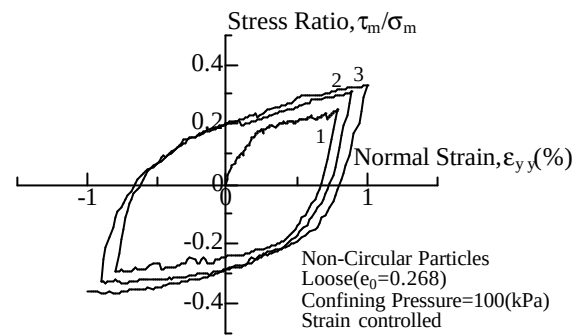


(c)応力誘導異方性の変化

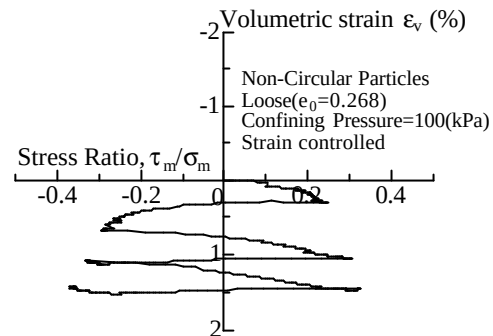


(d)配位数の変化

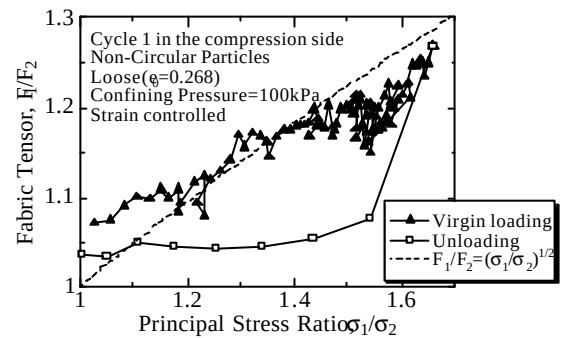
図-1 繰返し載荷試験結果（密詰め）



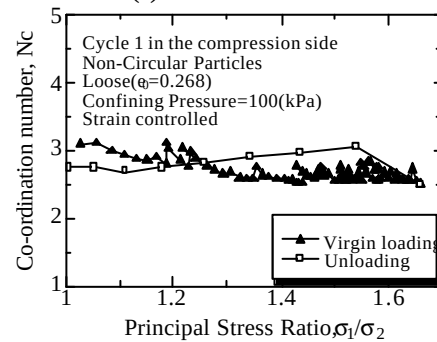
(a)応力ひずみ関係



(b)ダイレイタンス



(c)応力誘導異方性の変化



(d)配位数の変化

図-2 繰返し載荷試験結果（緩詰め）

みられる。つまり、応力誘導異方性の発達とともに配位数が減少し供試体全体は不安定化するといえる。同様な結果は、応力制御による繰返し試験結果においてもみられた⁴⁾。

参考文献：1) 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. 2) 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 回地盤工学会研究発表要集, pp.549-550, 1998. 3) 桑原直範, 大野了悟, 前田健一 ; DEMによる密度・過圧密履歴が異なる粒状材料の変形・破壊挙動と内部構造の変化の解析, 応用力学論文集, Vol.5, pp.431-440, 2002. 4) 櫻井崇之, 大野了悟, 前田健一 ; DEMによる繰返し載荷時の応力誘導異方性, 第38回地盤工学会, [発表予定].