- 名古屋工業大学 学生員 大野了悟
- 中央復建コンサンタルタンツ(株) 正会員 桑原直範
 - 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),2)}。 既報では、粒状材料の密度依存性、過圧密依存性の発 現が安定な構造の消失と粒子に発揮される回転抵抗度 の発達に依存していることがわかった。

本報告では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^{3),4)}を用いて表した。二次元個別 要素法を用いて二軸圧縮試験を実施し単調および繰返 し載荷試験下の異方性の発展について調べた。

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を表現を可能にしている^{1),5),6)}。 詳しい解析手法は既報に詳しい。本報告では、非円形 粒子のゆる詰と密詰の場合について、二軸圧縮下の側 圧一定および定体積の単調載荷と側圧一定の繰返し載 荷の結果を示す。

一方、構造の異方性を示す指標としてファブリック テンソルを援用する。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 F₁,F₂とする。主値の 比(F₁/F₂)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

まず、単調載荷の結果について示す。図-1 は側圧-定試験下における等方圧縮とせん断時の間隙比 e と平 均主応力 m/kn(ここで、knは粒子間の垂直バネ定数) の関係を密度、拘束圧の異なる場合について示してい る。図から密度と拘束圧の依存性について再現されて いることがわかる。また、限界状態の存在がうかがえ る。図-2(a-c)は定体積試験時の挙動を示しているが(

mは最大せん断応力、 yy は y 軸圧縮方向の直ひずみ m0 はせん断初期の m) 図-1の結果と連動して揺る 詰めでは流動的、密詰めでは非流動的変形をそれぞれ 示している。これに伴う異方性の発達度を図-3(a,b)に 示す。図中には円形粒子や過圧密の結果についても示 している。粒子形状,拘束圧,過圧密比に関わらず、主応 力比(1/2)の増加にともなってファブリックテン ソルの主値比(F1/F2)が増加し、最大主応力方向に異 方性が発達している。これらの代表的関係は両図中の 破線で示されている、次式のべき関数で近似できる。

$$F_1/F_2 = (\boldsymbol{s}_1/\boldsymbol{s}_2)^{0.5}$$

この関係は修正応力の変換に用いられる⁷⁾。ただし、 せん断応力が増加しない領域では供試体全体の異方性 の発達はみられない(例えば、ゆる詰めの定体積試験)。

つぎに、図-4(a, b)と図-5(a, b)は、それぞれ、ゆる詰 めと密詰めの供試体について側圧一定・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 m/ m=±0.1, ±0.2, ±0.3である。図-4のゆる詰めでは繰 り返し載荷によって圧縮が進行していくことがわかる。 また、図-6(a, b)は繰り返し載荷時の異方性度(F1/F2) の変化を応力比 m/ m に対して示している(図中の Path 1 - 6 は繰返しの経路を意味する。図-4(b)参照)。ま た、図中には上式(図-3)の関係を(F1/F2) ~ 応力比

√ mに書き換えた関係を破線で示している。繰り返し過程で異方性は顕著に変化することがわかる。過去に受けた最大の応力比よりも低い応力比の領域では異方性の変化は小さい。一方、それ以外の高い領域では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。弾性域・塑性域でのさらに詳細な検討が必要である。

参考文献:

1) 桑原直範・前田健一;個別要素法解析による粒子特性が異なる粒状体中の微細構造の発達・消滅過程の考察,応用力学論文集,Vol.3, pp.469-480, 2000.

2) 桑原直範・前田健一・川戸貞幸;粒状材料のせん断帯内部における微細構造の発生・消滅過程の考察、第50回理論応用力学講演会講演論文,pp.509-510,2001.
3) 粒状体の力学、土質工学会、pp.75-91.

4) 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.

5) 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・破壊挙動の密度と過圧 密履歴依存性第,37回地盤工学研究発表概要集,(掲 載予定),2002.

 6) 大野了悟、桑原直範、前田健一: DEM による粒状 材料の単調載荷時の応力誘導異方性と微細構造の安定 性解析,第37回地盤工学研究発表概要集,(掲載予定), 2002.

7) 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.

