

第 部門 粒子間付着力を有する圧縮性粒状材料の 面上の応力経路での变形特性

神戸大学 学生員 栗山 靖崇
 神戸大学大学院 正会員 榊原 辰雄
 神戸大学 正会員 加藤 正司
 神戸大学 正会員 澁谷 啓

1. はじめに

盛土などの多くの土構造物は不飽和状態であり、この不飽和状態の土の挙動を解明することが土質工学上重要な課題である。不飽和土の力学挙動にはサクシオンが大きく影響を及ぼす。このため、サクシオンを考慮した解析により、不飽和土の力学挙動を解明することが必要と言える。そこで、本研究では、三次元個別要素法解析（個別要素法；Distinct Element Method）においてサクシオンの影響と考えられる粒子間付着力を導入し、せん断時に圧縮する粒状体に対して変形特性の検討を行った。

2. 解析方法および解析条件

DEM は Cundall¹⁾ によって提案された不連続体解析手法の 1 つであり、粒状材料集合体の動的挙動を扱うのに適している。本研究では、文献 1) の考え方に基づいた、市販の三次元個別要素法解析プログラムを用いている。解析モデルは以下の手順で作製した。直方体形の空間領域内に、直径が 5(cm)~10(cm)の合計 5438 個の球形粒子を発生させ、20(kPa)の等方応力で圧縮した。その後粒子間に 10000(N)の粒子間付着力を導入し、所定の等方圧まで圧縮した。最終的な供試体寸法は 1.9(m)×1.9(m)×5.0(m)で、初期間隙比は平均主応力 $p = 1000$ (kPa)のときは約 0.95、 $p = 3000$ (kPa)のときは約 0.90、 $p = 5000$ (kPa)のときは約 0.85 であった(ただし、 $p = (\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3)/3$)。その後、供試体の上下方向の載荷板を圧縮方向に動かし、他方向を制御してせん断試験を行った。せん断中の p は 1000(kPa)、3000(kPa)、5000(kPa)の 3 種類とし、せん断時の応力経路は図 1 のように、静水圧軸上から 面を見たときの y 軸方向からの角度を θ とした時、 θ が 60° 、 75° 、 90° 、 105° 、 120° 一定の 5 種類の 面上の経路である。なお、 $\theta = 60^\circ$ は伸張試験を表し、 $\theta = 120^\circ$ は圧縮試験を表す。本研究では表 1 に示す材料定数を用いた。この材料定数は、市販の 3 次元個別要素法解析プログラムのサンプルデータを参考に決定した。検討する破壊規準は SMP 規準と Lade 規準であり、面上では図 2 のような形状になる。

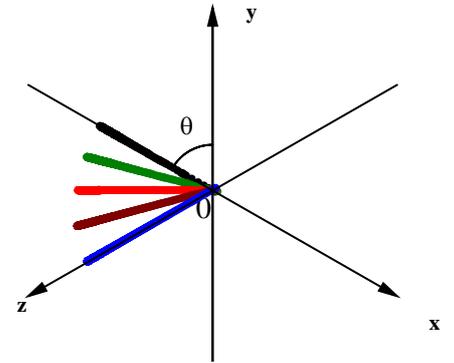


図 1 面上の応力経路

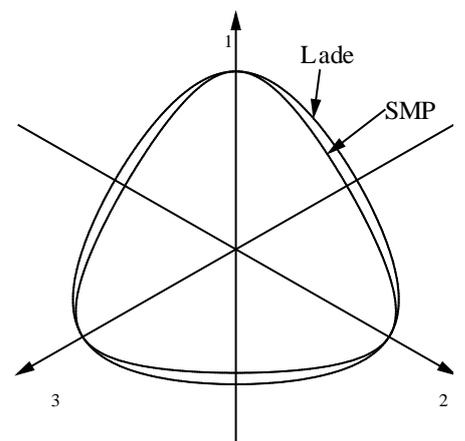


図 2 $\theta = 30^\circ$ における Lade 規準と SMP 規準

表 1 解析に用いた材料定数

	Particle-particle	Particle-wall
Normal stiffness k_n (N/m)	9.0×10^9	1.8×10^{10}
Shear stiffness k_s (N/m)	3.8×10^8	6.0×10^8
Coefficient of friction	0.287	0.176
Density of particles (kg/m^3)	2700	

3. 解析結果および考察

図3は応力～ひずみ関係の例として、 $p=3000(\text{kPa})$ のケースを示したものである。主応力差と体積ひずみがマイナスの値を示しているのは、本研究に用いたプログラムが伸張を正としているためである。また、本研究ではひずみの定義は大変形モードでの平均ひずみを用いている。図3から、供試体が応力経路にかかわらずせん断中に圧縮する傾向を示していることがわかる。

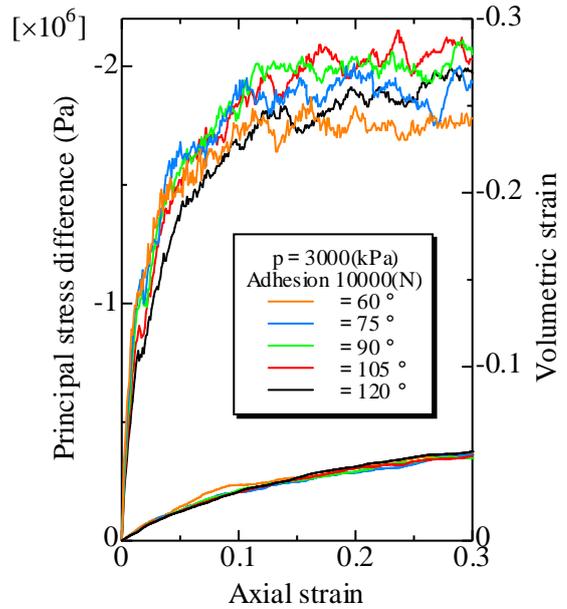


図3 応力～ひずみ関係

図4, 5は等 σ_{ct} 線を面上に図示したものであり、それぞれ平均主応力 $p=3000\text{kPa}$, 5000kPa の場合の面上の等せん断ひずみ線である。この等せん断ひずみ線は内側から順に 0.01, 0.03, 0.05, 0.07, 0.10 のせん断ひずみを表している。せん断ひずみが大きくなるにつれて、円形状になっているように見える。

図6, 7はそれぞれ平均主応力 $p=3000\text{kPa}$, 5000kPa の場合の面上の等体積ひずみ線であり、内側から順に 0.01, 0.02, 0.03, 0.04 の体積ひずみを表している。体積ひずみが大きくなるにつれて、円形状に近づいているように見える。

面上の破壊規準の検討に関しては文献2)を参照。

4. まとめ

三次元 DEM 解析において得られた圧縮性粒状材料の面上における等せん断ひずみ線、等体積ひずみ線はせん断が進み、ひずみが大きくなるにつれて、円形状になる傾向が得られた。

参考文献

- 1) Cundall, P. A.: A computer model for simulation progressive, large scale movement in blocky rocksystem, Symp. ISRM, Nancy, France, Proc.2, pp.129-136, 1971.
- 2) 栗山靖崇、榊原辰雄、加藤正司、渋谷啓：第41回地盤工学研究発表会（投稿中）

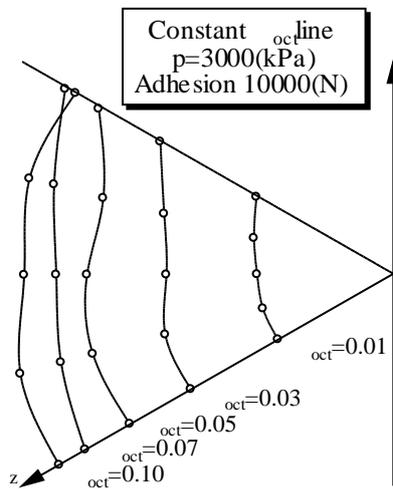


図4 等せん断ひずみ線
 $p=3000(\text{kPa})$

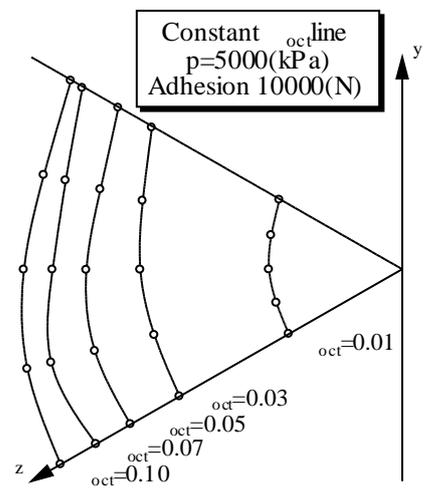


図5 等せん断ひずみ線
 $p=5000(\text{kPa})$

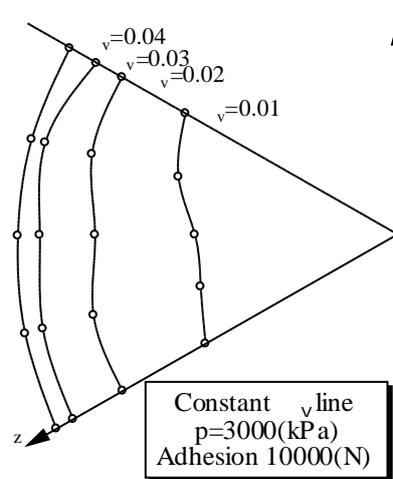


図6 等体積ひずみ線
 $p=3000(\text{kPa})$

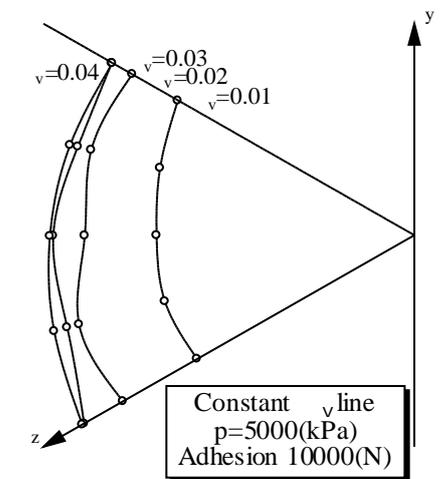


図7 等体積ひずみ線
 $p=5000(\text{kPa})$