

III-5

粒状体の微視的変形機構に関する実験的研究(1)

—— 粒子形状・粒子間摩擦角の影響 ——

信州大学工学部 正会員 小 西 純 一
 埼玉大学工学部 正会員 小 田 匡 寛
 Northwestern Univ. S. Nemat-Nasser

1. はじめに 粒状体の変形機構を微視的立場から究明するため、従来より2次元模型粒状体を用いた実験が行われてきた。本研究もその範囲を出ないが、粒子形状、粒子間摩擦角、堆積角、密度などの影響を総合的に調べることができるよう、次の試みを取り入れた。

- (a) 光弾性材料を用いて、横断面の粒子を複製
- (b) 表面処理により、粒子間摩擦角を変化させる
- (c) 堆積角を変え、初期異方性の影響を調べる。

実験およびデータ解析の一部は未完であるが、実験の概要を紹介するとともに、粒子形状と粒子間摩擦角について若干の考察を試みたい。

2. 実験の概要

(1) 粒子

材質：ポリウレタンゴム (100% modulus = 80 kg/cm²,
 光弾性定数 $\alpha = 82.5 \text{ mm/kg}$)

粒子形状：円断面および近似的楕円断面の棒状 (表-1 参照)

粒子間摩擦角： #400 サンドペーパー 仕上の粒子: $\phi_\mu = 52^\circ$
 タルク粉 を磨いたもの $\phi_\mu = 26^\circ$

$\phi_\mu = 52^\circ$ の場合 スティック・スリッパ挙動が著しい。

形状と摩擦角の組合せにより、計6種の粒子について実験を計画しているが、円断面粒子については未完である。(表-2)。各粒子とも大、中、小のものを同数混合している。

(2) 2軸圧縮試験

2軸圧縮試験機はアルミ製の4辺独立な長方形載荷枠と載荷系、測定系より成る。載荷枠の大きさは高さ約330 mm、幅約207 mmで、約650個の粒子が入る。今回の実験では、底部を固定、側部材には重錘による一定荷重をかけ、上部材の変位を制御し、ロードセルで荷重を測定した。変位はLVDTにより測定した。また、装置全体を操縦することができるようになっており、種々の堆積角で供試体の形成ができる(図-2)。粒子は手でランダムに積み上げた。

圧縮試験の任意の段階で光弾性等色線写真を撮影しておき、微視的諸量の測定に供する。

3. 実験結果

軸ひずみ ε_1 に対して、応力比 σ_1/σ_2 、体積(面積)ひずみ E_v を示したのが図-3である。Sample名は表-2 参照。図(a)と(c)、(b)と(d)をそれぞれ比べると、より偏平な粒子(Sample CとF)の方が丸っこい粒子(B, E)より

表-1 粒子の寸法

particle shape	cross section	axial ratio r_1/r_2	diameters r_1/r_2 in mm		
			large	medium	small
round*		1.0	14.1	9.4	6.0
oval I		1.1	14.8/13.4	9.9/ 8.9	6.3/5.7
oval II		1.4	16.0/11.3	10.7/ 7.4	7.1/ 4.9

length (common) 19 mm

表-2 粒子の種類

name	friction angle ϕ_μ	cohesion	cross section	r_1/r_2
A*	52°	none	round	1.0
B			oval I	1.1
C			oval II	1.4
D*	26°	none	round	1.0
E			oval I	1.1
F			oval II	1.4

* : 未完

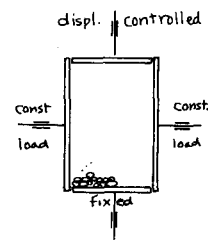


図-1 載荷枠

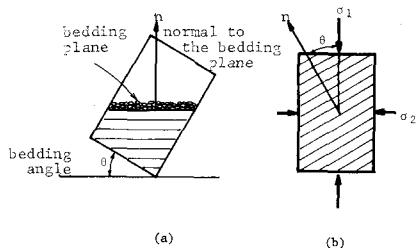


図-2 堆積角 bedding angle θ

(a) 供試体形成時 (b) 試験時

堆積角 θ の影響が著しい。一方 (a) と (b), (c) と (d) をそれぞれ比べると、 ϕ_μ の影響はそれほど強くないことがわかる。

図-4 には ピーク応力比 (σ_1/σ_2) と堆積角 θ の関係を示した。

長・短径比 $r_1/r_2 = 1.1$ の丸っこい粒子の場合 (B, E) には 堆積角 θ の影響は小さく、また摩擦角 ϕ_μ の影響もないと言えるが、 $r_1/r_2 = 1.4$ のより偏平な粒子の場合 (C, F), とくに θ の影響が著しい。

このように粒子形状が粒状体の性質とかなり強く左右することがわかったが、その理由を定量的に説明するところまで至っていない。しかし、接点法線の分布とその変化 (図-5)、接点において発現されている摩擦角、粒子の並進および回転量など、微視的な測定の結果からある程度の摩擦が可能になりつつある。その場合、変形の自由度——微視的には粒子の動きやすさ、が重要なポイントになるように思われる。動きやすいのは、偏平粒子よりも丸い粒子、摩擦角のより小さい粒子、dense よりも loose な場合、……

小田ら¹⁾は、砂の場合、平面ひずみ試験と三軸圧縮試験とくらべると前者の場合に堆積角の影響が著しいと報告し、その理由を変形の自由度に求めている。

Skinner²⁾ はガラスビーズ集合体の強度が粒子間摩擦角 ϕ_μ に影響されないという報告をし、その理由は、粒子回転にあるとしている。

粒状体が応力を受け変形するとき、誘導異方性が生じることが知られている。図-5 に一例を示した、粒子接点角 (粒子接点法線が σ_1 の方向となす角) の分布を調べてみると、ピークにおける分布がどの程度初期の分布を保存しているかが、図-4 に見られる強度の差を生んでいるように思われる。そして誘導異方性の発達は、粒子の動きやすさと関係しているようである。

参考文献 1) Oda, Koishikawa & Higuchi, Soils and F., 18, Not, 1979, 2) Skinner, Géotechnique, 19, 1969

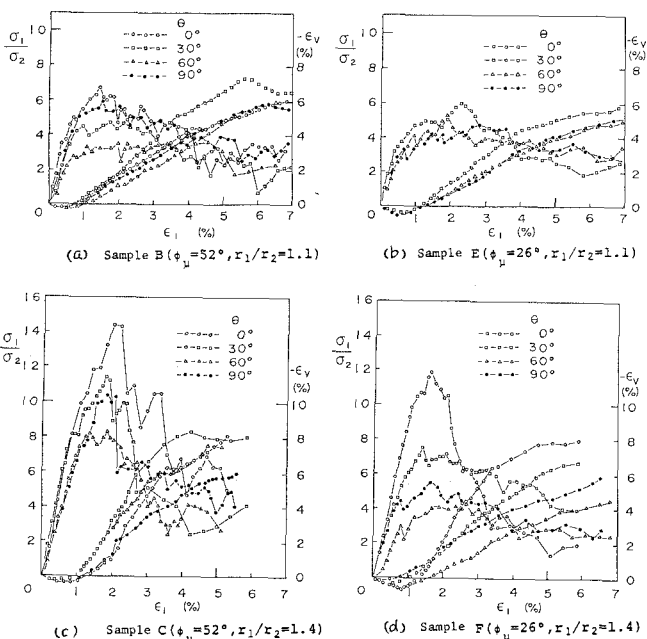


図-3 応力比、体積ひずみ-軸ひずみ関係

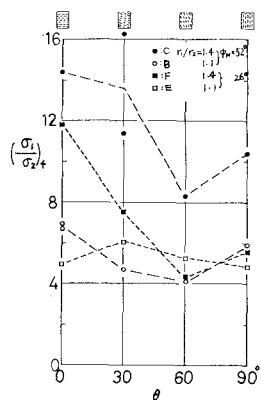


図-4 ピーク応力比と堆積角

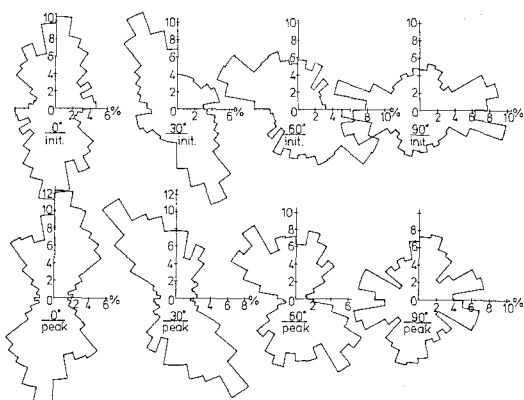


図-5

Distributions of contact normals of the assembly for Sample C ($\phi_\mu = 52^\circ, r_1/r_2 = 1.4$).