

信州大学大学院 学 成 瀬 文 宏

信州大学工学部 正 小 西 純 一

埼玉大学工学部 正 小 田 匡 寛

Northwestern Univ. S.Nemat-Nasser

1. はじめに

著者らは、昨年度講演会において、相接する2粒子間の相対運動を実測してみると、主としてすべりにより運動している接点よりも、主としてころがりによって運動している接点の方が多く、粒状体の微視的変形機構として粒子のころがり運動が無視できないことを指摘した。その後、粒子形状、粒子間摩擦角、堆積角などの異なる場合についても測定を行なったので報告したい。

2 粒子の微視的変形機構

粒子の微視的な運動は図1に示す3つの変形機構と相対運動のない場合とに分けられる。変形前の粒子 G_1 が変形後に G'_1 に移るとする(図1)。1) 純すべりでは、粒子の回転は伴わず($\omega = 0$)、接点 C_1 は変位と共に C_2 に、また変位前の接点 C_1 は C'_1 にそれぞれ移動する。ここで $\widehat{C_1C_2}$ の長さを a 、 $\widehat{C'_1C_2}$ の長さを b とおく。また変位後の接点 C_2 における接点法線に対し α 、 b は反対側にあるので b を負と定義する。接点における両粒子の曲率半径が等しい場合 $\alpha = -b$ となる。2) 純ころがりでは、粒子 G_1 は粒子 G_2 に対し相対的に ω だけころがる。この場合、 $\widehat{C_1C_2}$ と $\widehat{C'_1C_2}$ は接点 C_2 の接点法線に対し同じ側にあり、かつ $\widehat{C_1C_2} = \widehat{C'_1C_2}$ ($\alpha = b > 0$) の関係を満足している。3) すべりところがりが混在する場合1)と2)の中間的性質をみせる。またこのとき $b < 0$ なすべりが、 $b > 0$ なころがりが卓越しているといえる。4) 相対運動のない接点、粒子 G_1 と G_2 は相対的に移動せず2つの粒子が一体となつて運動しているとみなせる接点である。以上のように粒子間の相対すべりと相対ころがりを論じるには、 $\widehat{C_1C_2}$ 、 $\widehat{C'_1C_2}$ の長さや符号に着目することが重要となる。

3 実験の概要

粒子断面形状の異なる3種類の光弾性材料2次元粒状体(円, oval I (軸比1.1), oval II (軸比1.4))につき粒子間摩擦角 ϕ 、堆積角 θ を円とoval Iについてはそれぞれ 52° 、 26° と 0° 、oval IIについては 26° と 0° 、 90° の計6種類の供試体の2次元2軸

圧縮試験を行なった。変形前(初期)、ピーフおよび残留状態において撮影した光弾性写真を用いて中央部 $\frac{1}{2}$ 面積内における、それぞれの状態間の相対変位、 $\widehat{C_1C_2}$ 、 $\widehat{C'_1C_2}$ を測定した。図3に a 、 b の載荷時の変位量 Δ で無次元化した関係を示す。また a 、 b は相対的な長さであるから絶対値の大

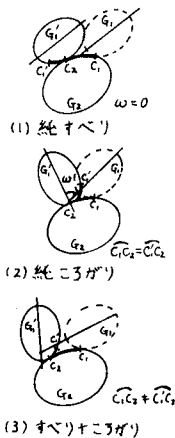


図1 微視的変形機構

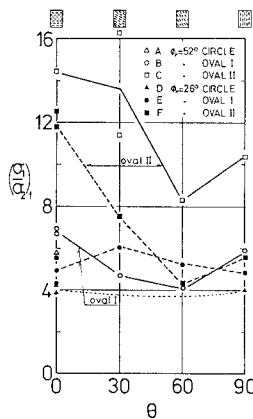


図2 応力比と堆積角の関係

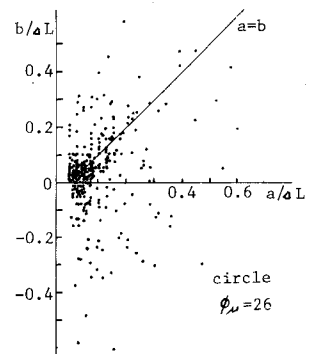


図3 aとbの関係

大きい方を a 、小さい方を b とおきなおすと、ころがりの割合を示す量として b/a が定義される。 $b/a > 0$ の接点はころがり運動が、 $b/a < 0$ ではすべり運動がより多く起、ている接点である。特に $b/a = 1$ のときは純ころがりである。次節の図4～図8は $\arctan(b/a)$ の頻度を示す。また図中の S/R は次式で定義される。

$$\frac{S}{R} = \frac{\text{すべりがより多く起、ている接点の総数}}{\text{ころがりがより多く起、ている接点の総数}} \quad (1)$$

4 実験の考察

粒子間力の大小：図4は全接点について、粒子間力が大きい接点だけを抽出した場合である。(a)図(全接点)に比べ(b)図(粒子間力大)では $b/a = 1$ の近傍の頻度がより高く、ころがりが卓越していることを示している。これより粒子間力の大きい接点、すなわち「柱」を形成しているような接点ではすべりは生じにくく、ころがりによる相対運動が卓越しており、すべりはその周辺の粒子間力の小さい接点で多く生じているようである。これはCundallとStrackが指摘する「柱」の崩壊機構²⁾を裏付けているように思われる。

ϕ_u の影響：図5、6には ϕ_u の違いによる影響を示す。 ϕ_u が大きくなるとすべりにくくなり、相対的にころがりが多く起っているようである。

初期構造の影響：図7より、堆積角 90° の粒状体が 0° の場合と比べてよりころがり運動の割合が多いことがわかる。これは $\theta = 90^\circ$ の場合、粒子の初期配向が載荷重に対して不安定な方向であるため、安定な配向に変化しようとして粒子のころがりが生じやすいものと思われる。

粒子形状：図8に3種の粒子形状による差異を示した。前報にも触れたように、円形>oval I>oval IIの順でころがりやすいであろうと予想していたが、これらの図からはそのような傾向は見出せなかった。

相対運動のない接点の分布：相対運動のない接点($a = b = 0$)はかなりの割合で存在しているが、その空間的分布を調べてみると、それは載荷荷付近に集中しており、いわゆる不動領域を形成しているようである。

5 結論

粒子同志の相対運動はころがりによるところが大きく、微視的変形を論ずる場合には無視できないこと。特に粒子間力が大きな最大主応力方向の粒子列(column)内でそれが著しいことがわかった。

参考文献

- 1) 小田・小西・J.Nemat-Nasser(1992)土力学の非線形弾性変形
- 2) Cundall・Strack(1979) us a tool for research in G.M.II

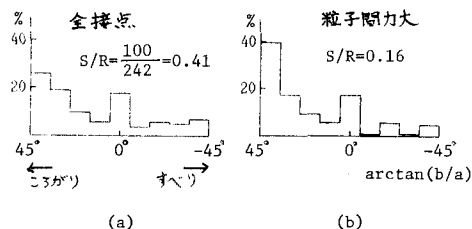


図4 粒子間力の影響

(円形, $\phi_u = 26^\circ, \theta = 0^\circ$)

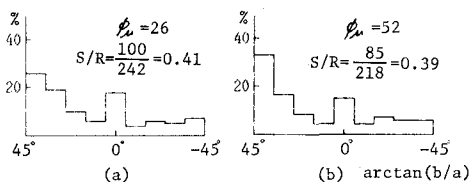


図5 ϕ_u の影響

(円形, $\theta = 0^\circ$)

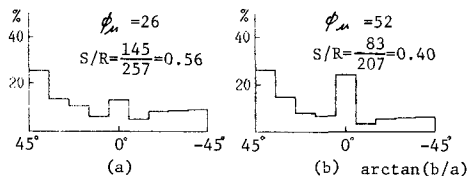


図6 ϕ_u の影響

(oval I, $\theta = 0^\circ$)

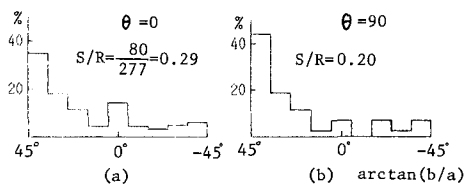


図7 初期構造の影響

(oval II, $\phi_u = 26^\circ$)

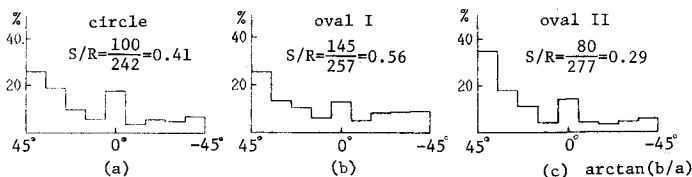


図8 粒子形状 ($\phi_u = 26^\circ, \theta = 0^\circ$)