

カンドールモデルによる粒状体のせん断変形特性の解析

東北大学工学部 学生員 ○佐藤 充宏
 同 正員 岸野 佑次
 同 学生員 荒木 一司

1. まえがき

近年、粒状体の内部で起っている現象の観察からその内部応力や変形機構を解析するための手段として、計算機によるシミュレーション解析が注目されてきている。シミュレーション解析は、従来行われてきた光弾性材料による試験に比べて条件を任意に設定して結果を出すことが容易であり、豊富な情報を得ることができるといふ利点がある。本文は、一つのシミュレーション手法であるCundallとStrackの考案したモデルにより、粒状体の単純せん断試験のシミュレーション解析を行い、その結果に基づいてせん断を受ける粒状体の変形機構についての考察を行ったものである。

2. 解析方法

図-1はCundallモデルの粒子間の接触機構を示したものである。本方法は、領域内のすべての粒子を質点とする多自由度振動方程式を微小時間ごとに逐次演算で解くことによって粒子の挙動を解析しようとするものである。

解析の対象としたモデルは、図-3の様な種類の粒径(1.2cm, 1.6cm, 2.0cm)の内粒子の集合体(総粒子数143, 重量比1:1:1, 粒子密度 $\rho = 2.70 \text{ g/cm}^3$)

である。あらかじめ固定壁で囲まれた領域内に粒子が重ならないように人為的に配置し、次に壁を固定したまま粒子を重力の作用で自由落下させた後、左右と上の壁に $p = 2.0 \times 10^5 \text{ dy/cm}^2$ の拘束圧を加えて圧縮し安定した状態を初期状態とした。解析に用いたその他の定数は、法線、接線方向のバネ定数をそれぞれ $K_n = 1.0 \times 10^7 \text{ dy/cm}$, $K_s = 5.0 \times 10^6 \text{ dy/cm}$ であり、粘性係数はRayleigh減衰を用いて $C_n = \beta \cdot K_n$, $C_s = \beta \cdot K_s$ で $\beta = 3.0 \times 10^{-4} \text{ sec}$ とした。逐次演算に用いるステップ毎の微小時間増分は $\Delta t = 1.0 \times 10^{-4} \text{ sec}$ とした。載荷方法は、拘束圧を一定に保ったまま左右の壁を 0.1 rad/sec の角速度で回転し、同一の粒子集合体に対して粒子間摩擦角(以下単に摩擦角というものを $\phi = 20^\circ$, 30° , 40° と変化させて解析を行った。

3. 結果及び考察

図-2に各摩擦角に対する応力比～せん断歪～ダイレイタンシー関係を示す。摩擦角が大きいくほど、応力比の最大値は大きな値となり、ダイレイタンシーの増加の割合も大きくなっていくことがわかる。初期間隙比は $\phi = 20^\circ$ で0.206、 $\phi = 30^\circ, 40^\circ$ が共に0.215であった。いずれの場合も応力比に明瞭なピークは見られず、平坦なグラフとなっている。また、負のダイレイタンシーは殆ど見られない。摩擦角中によるダイレイタンシー増加の割合の違いは、端部などにおける空隙生成の起こり易さに対応しているものと考えられる。Cundallモデルによる二軸圧縮試験のシミュレーション解析²⁾では、主応力比の増加と共にダイレイタンシーが減少しているが、この違いはせん断試験では粒子数が少ないと粒子配列の不均一性が生じ易く、体積が増加し易いこ

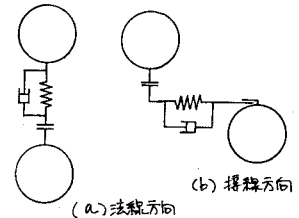


図-1 Cundallモデル

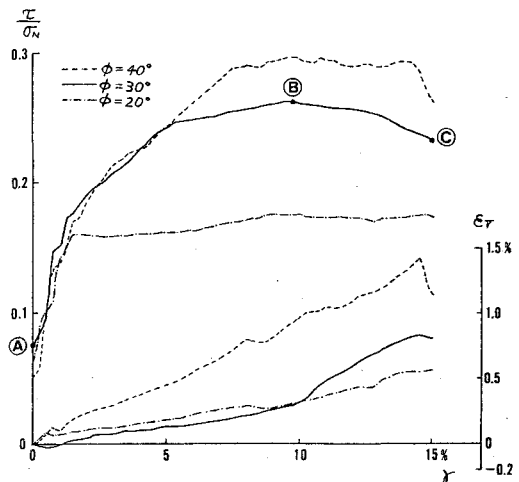


図-2 応力比～せん断歪～ダイレイタンシー関係

とに起因している
ものと考えられる。

図-3に図-2
中の①～③($\phi=30^\circ$)
における各粒子に
作用する接触力の
大きさとその方向
を示す。ピーク時
には最大主応力の

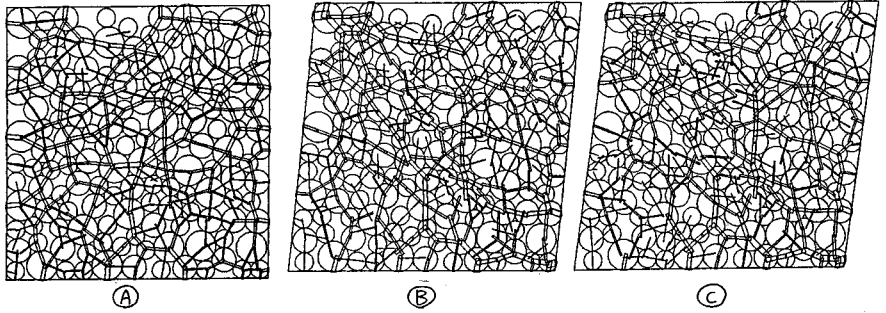


図-3 粒子間の接触力

方向付近に比較的大きな接触力が分布しているが、ピーク後もそれが保持されていて粒子配列の急激な変化は見
られない。これは応力比の急激な低下が見られない事に対応していると考えられる。

図-4はピーク時の有効接触角分布である。

初期状態と比較すれば、接触角は応力比の増
加とともに最大主応力方向の前後に集中する
傾向が見られるが、光弾性実験の結果³⁾ほど
顕著ではない。接触角の分布において摩擦角
の違いによる差は特に見られないが、ピーク
後においては摩擦角が小さいほど分布は均一
になる傾向が見られる。

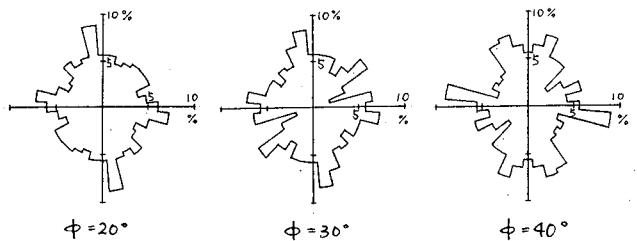


図-4 有効接触角分布

図-5にde Jongの方法⁴⁾により求めた応力テンソルの主
軸の方向の変化と、粒子の変位から統計的に求めた有限歪⁵⁾
の歪増分テンソルの主軸の方向の変化を示す。一定のステ
ップ数毎の歪増分を計算しているために、歪増分主軸の変
化は滑らかな曲線にならないが、 $\phi=20^\circ, 30^\circ, 40^\circ$ のいずれ
の場合も応力主軸と歪増分主軸の間には共軸性がほぼ成立
していると考えられる。 $\phi=20^\circ$ の場合が他より曲線の起
伏が小さいのは、粒子間の摩擦角が小さく、粒子の初動が
円滑に起こるためであると考えられる。なお、剛体壁の変
位から求めた歪増分の主軸と応力主軸の間にはこのよう
な共軸性は見られない。

4. あとがき

本文では、Cundallモデルを用いて粒状体の単純せん断試
験のシミュレーションを行い、変形機構について考察した。
粒子数が少ない場合には、端面の影響が現れる傾向が強く、
注意を要するが、このような解析は粒状体の変形機構の解
析を行う上で、一つの有用な方法であると思われる。

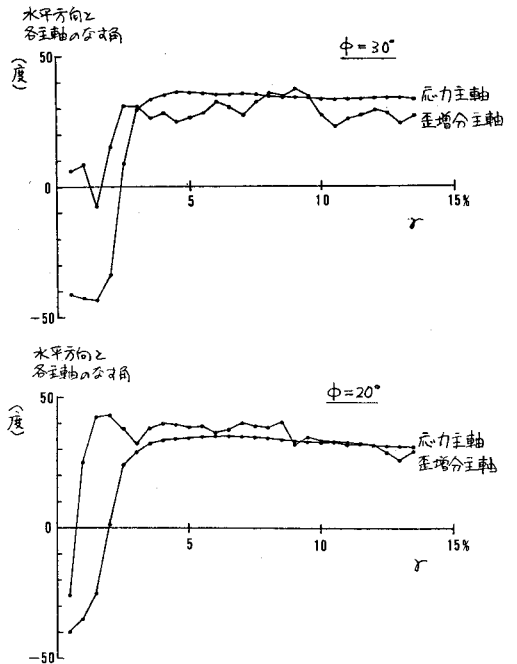


図-5 応力主軸及び歪増分主軸の変化

参考文献 1) P.A. Cundall & O.D.L. Strack: Geotechnique, 29 (1979), 97~65 2) 荒木 佑武 岸野 : 第40回年講概要集Ⅲ (1985), 915~916

3) 熊坂 佑武 新聞: 昭和56年度東北支部発表会概要集 (1982), 220~221 4) A. Drescher & G. de Josselin de Jong: J. Mech. Phys. Solids, 29 (1972), 337~351 5) 岸野: 第33回年講概要集Ⅱ (1978), 10~11