

東北大学工学部 正 員 佐武正雄
東北大学工学部 正 員 岸野佑次
東北大学工学部 学 生 員 ○聖生守雄

1. まえがき

砂のような粒状体の巨視的な変形は、その機構を考察すると、粒状体内部の剪断領域における塑性剪断変形によって大きく支配されているように思われる。しかし、従来、塑性変形におけるこのような微視的な変形機構を実験的に調べた研究はあまり行なわれていない。著者らは二次元粒状体モデルを作製し、二軸圧縮試験を行ない、粒子の変位および回転を測定した。本文はこれらの実験より得られた連続体的な歪場および粒子の回転の分布図を示し、上述の変形機構につき若干の考察を行なったものである。

2. 実験装置、実験方法

図-1に示すような二軸圧縮試験装置を水平に設置し、鉛粒を用いた荷重装置により P_3 を一定に保ち、 P_1 を徐々に増加させ変形を与えた。また、載荷板、横方向拘束板の変位量を測定するためにダイヤルゲージを設置した。実験に用いた粒状体モデルは図-2に示すような形状で、塩化ビニール、アクリルパイプを切断、加工し剛性をもたせるために中に石膏をつめたものである。実験はこれらの粒子を種々の割合で混合し、任意の剪断過程までの個々の粒子の運動を追跡しやすいように歪を制御して行なった。なお、粒子の配列、位置、回転量、回転方向の測定に際してはビデオコーダ、感光紙を用いた。

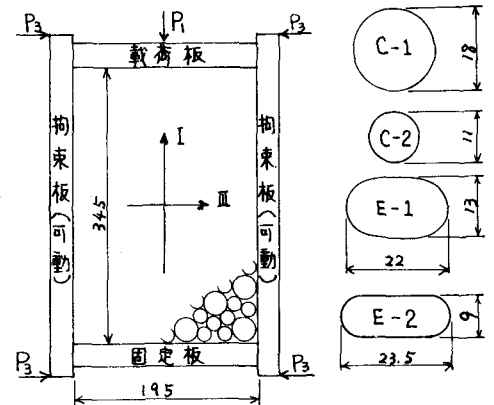


図-1 二軸圧縮試験装置 図-2 粒状体モデル

3. 実験結果

図-2の粒状体モデルについて応力比-歪関係を求めた結果、 $\sigma_3/\sigma_1 = 3 \sim 4$ 、 $\varepsilon_1 = 1 \sim 2\%$ で降伏し、その後歪は急激に増加する。このことより、剪断過程を ε_1 で $2 \sim 10\%$ と考え、次に示す実験結果は ε_1 をその範囲内に制御している。図-3は二軸圧縮変形過程における個々の粒子重心の変位量、方向をベクトルで表わしたものの例である。試料はC-1、C-2粒子を数で1:4の割合で混合し、 ε_1 を3、6%に制御した時の変位である。図-4はC-2、E-1、E-2粒子を数で1:12:8の割合で混合し、 ε_1 を10%に制御した時の変形に伴うE-1、E-2粒子の回転量を円の直径で表わした例である。回転量を示す円の中心は変形後の粒子重心の位置である。図における矢印は特定粒子の変位ベクトルであり、これにより図の左上と右下とが結び領域が剪断領域となっていることを意味している。

4. 考察

4-1. 変位場について

図-3は円形粒子だけを用いた試料に

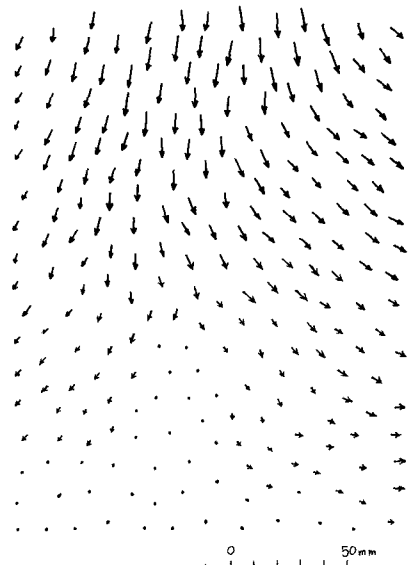


図-3 変位場

ついで変位場を求めたものであるが、楕円形粒子を混ぜた試料、円形粒子を規則的に配列した試料に対してもほぼ同様の変位場となる。すなわち、図-3に見られるように隣接粒子との相対変位の大きな対角線の近傍が剪断領域であり、他の部分は死領域と考えられる。つまり、荷重が対称でない時には図-4のように一方向への剪断が卓越することもある。これらの領域ごとに変形前後の空隙比を測定した一例を次に示す。

($\varepsilon_1 = 4.04\%$ 、 $\varepsilon_3 = -5.28\%$ 、 $\varepsilon_v = -1.02\%$)

	領域の占める割合	変形後の空隙比／変形前の空隙比
剪断領域	35%	1.29
死領域	65%	0.97
全領域	100%	1.05

この例でわかるように剪断領域においては極めて大きな体積変化が起きている。

4-2. 粒子の回転について 粒子の回転は、隣接粒子の回転により起こるものと、隣接粒子との相対変位に伴ない起こるものとに分けられる。前者はインターロッキングの影響でそれほど大きな値とはならないであろう。後者は剪断領域において著しい。剪断領域における回転の方向は、接触点に作用する剪断力を解消する方向と思われる。すなわち図-4においては剪断領域は左上より右下へと生じていることより回転の方向は時計回りとなる。また、楕円粒子の長軸の方向の分布を変形をうけて調べると選択方位性(小田⁽⁴⁾によると長軸方向の法線の分布のピークは最大応力方向に一致)が認められる。

4-3. 歪場について 図-3の変位場よりI方向、II方向、I軸と45°方向に対しそれぞれ歪場を求め、主歪方向、主歪、最大剪断歪を求めたものが図-5である。図によると歪テンソルの対角線成分の和で近似される体積歪を考えても、また最大剪断歪を考えても剪断領域で大きな値となっていることがわかる。主歪方向については個々の変位ベクトルより求めたためかなり不規則であるが、概して、縦方向が圧縮主歪軸、横方向が引張主歪軸となり、死領域と剪断領域との境界においては圧縮主歪軸が境界面に直交するものと思われる。

5. あとがき

剪断領域においては体積変化、主歪、最大剪断歪、粒子の回転量等は大きな値を示し、巨視的な変形を支配することが

明らかとなった。今後、連続体としての体積要素の回転等を求め、領域におけると異なるミクロな歪、回転と、巨視的に平均された量としてのマクロな歪、回転との関係を調べていきたいと考えられている。なお、この研究は昭和49年度文部省科学研究費(奨励研究(A)、課題番号915229)の補助を受けたものであることを併記する。

参考文献 1) Oda, M : Soils and Foundations, Vol.12, No.1, P.17, No.2, P.1, No.4, P.45 1972

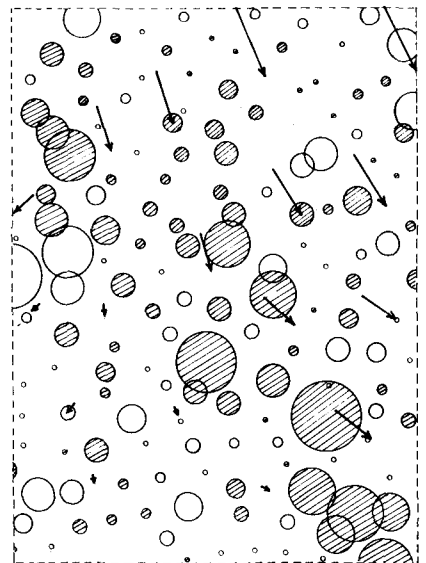


図-4 剪断に伴う粒子の回転

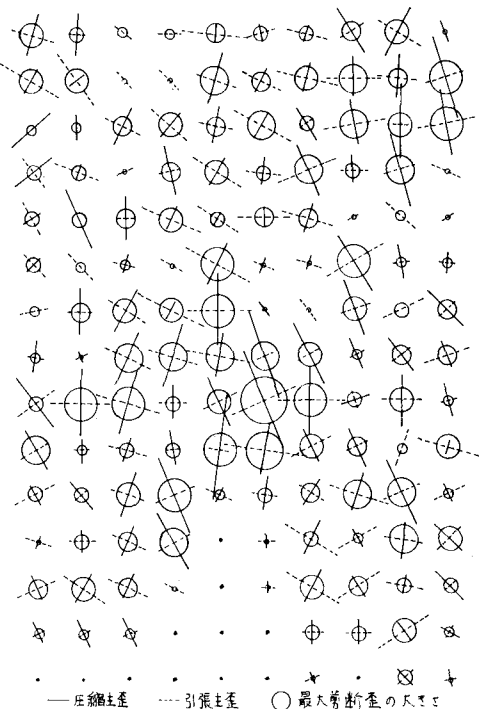


図-5 歪場