

砂のような粒状体が圧縮を受けると、荷重に応じて、自らの構造を変化させながら、抵抗力を発揮する。そして、ついには、荷重が抵抗力を上まわるようになって破壊に至る。従来より砂の変形・強度は主として、“せん断面”という一つの面上でのすべり現象として論じられてきた。しかしながら、ゆるぎめ砂の場合には、せん断面がはっきりしないことが多いし、せん断面が現われる場合にも、これはある程度の幅を有する、いわば“せん断領域”と考えるべきものと思われる。またこのせん断領域は、初期状態から存在するものではなく、圧縮が進行する間に発生するものである。

このような圧縮・変形過程の機構を解明するためには、粒状体内部における微視的な諸挙動に関する観察・研究が不可欠であり、多くの研究者により、このような視点よりの研究が行なわれている。

著者は、粒子接触角、粒子間伝達力、粒子移動などの微視的な要素間の関連や圧縮の進行に伴うこれらの変化などを知るために、光弾性材料であるエポキシ樹脂で作製した円柱形粒子から成る2次元粒状体について、2軸圧縮試験を行ない、若干の考察を加えた。

1. 試験方法

エポキシ樹脂製・長さ19mm、直径6, 8, 10mmの3種類の円柱形粒子を、重量比で1:2:3の割合で混合し、幅170mm、高さ250mmの載荷枠内に、無作為に積み上げて、2次元粒状体を形成する。本文に示す例では、2次元的な初期間隙比 $e_0=0.25$ である。載荷枠は、上部板と側板の片側が可動となっており(銅製)、これらを通じて、2方向の主応力と加えることができる。試験は側方荷重と一定に保ちながら、上下方向に0.5mmずつ段階的に圧縮変位を与えて行なった。接触力その他の諸量を得るために、いくつかの段階(図-1に矢印で示す)において、光弾性等色線写真も撮影し、引伸した印画上で、諸量を測定する。

2. 試験結果と考察

側圧0.056 kg/cmの場合の応力-ひずみ-体積変化の挙動を図-1に示す。軸ひずみ $\varepsilon_1 \geq 1\%$ となると降伏が始まり、体積は徐々に増大する。粒状体内部各部で生じる部分的な降伏～急激なすべり(構造変化)～強度回復という過程の繰返しによって、応力・ひずみの増減が著しく、急激なすべりにはビシッという音を伴うが、ここでは軸方向変位0.5mmごとに測定を行なったので、図の曲線には、凹凸が必ずしも忠実に表わされていないさらいがある。

粒状体が圧縮されると、粒子移動が生じ、互に接触している数個の粒子によって構成される単位骨格構造は変形する。また今まで存在していた接触点が無くなって、新たに隣接粒子との接触が生じ、新しい骨格が生じる場合もある。

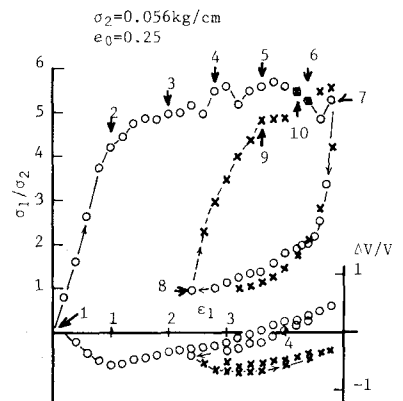


図-1 応力-ひずみ-体積変化の関係

軸ひずみ ε_1 が 1% 位までは、粒子は ε_1 の方向を中心に下方に移動するものが多く、骨格は縮小する。その後、方向角が少しずつ大きくなり、側方載荷板を押し出すようになる。図-2に、この段階での粒子移動と、骨格の変形を模式的に示した。図-3には $\varepsilon_1 = 1.0 \sim 3.5\%$ における、移動量と移動方向の頻度分布を示した。方向・量ともに分布幅の狭い部分は、その付近の粒子が比較的一体となって移動しているものと解される(1),(5),(6),(9)の領域)。粒子中心と結ぶ骨格線は、変位分だけずらせてやると重なってしまう部分が多い。これに対して、図-2に斜線に施した領域では、骨格にせん断変形が生じており、移動方向・量の分布幅は広がっている。その一例を図-4に示した。

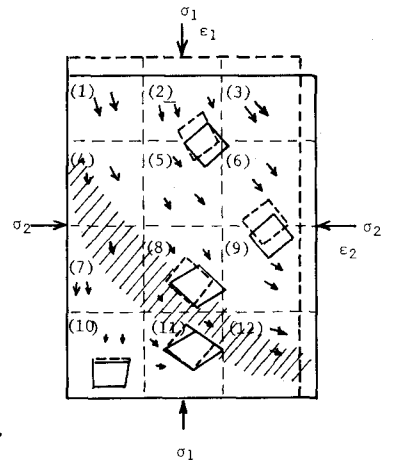


図-2 粒子移動と骨格変形の模式図

また粒子接触力は接点ごとに mobilize されている度合いが異なり、図-5に示したような分布を示している。(接触力 $\propto$ 橋次数)。接触力の接触角に対する分布は、その方向も中心にガウス分布状となっており、現在のところせん断領域の傾きなどとの関連は見出していない。また粒状体全体は mobilize された粒子群で囲まれるブロック群でおおわれ、粒子移動のパターンなどと関連がありそうであるが、粒状体各部が全体の強度変形に与与する程度などを検討しており、詳細は講演時に述べる。

なお光弾性実験に関して、京大工学部丹羽教授、小林助教授、中川助年の懇切なるご教示を受けた。記して謝意を表する。また文部省科学研究費の補助を受けたことを付記する。

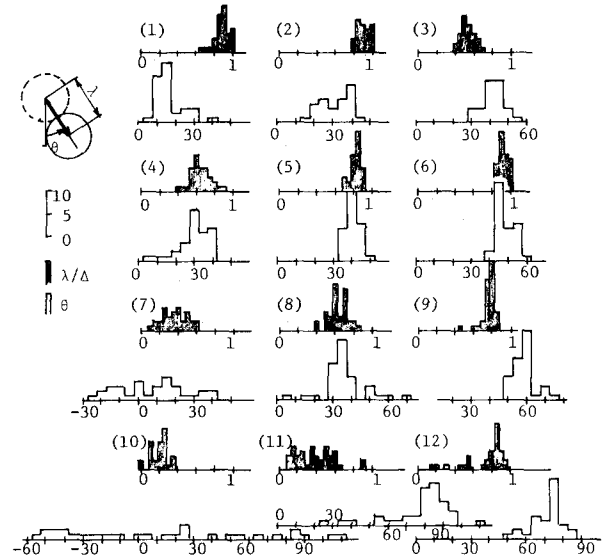


図-3 粒子移動方向(θ)・移動量(λ)の頻度分布
せん断変位増分 $\Delta = 6.5 \mu m$, $\varepsilon_1 = 1 \sim 3.5\%$

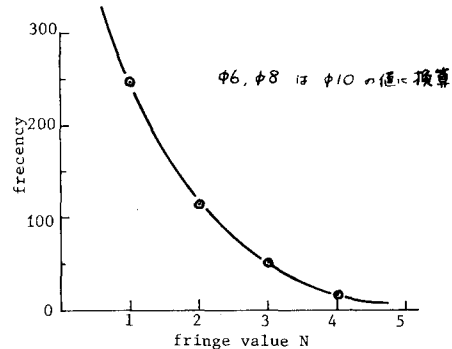


図-5 橋次数の頻度分布

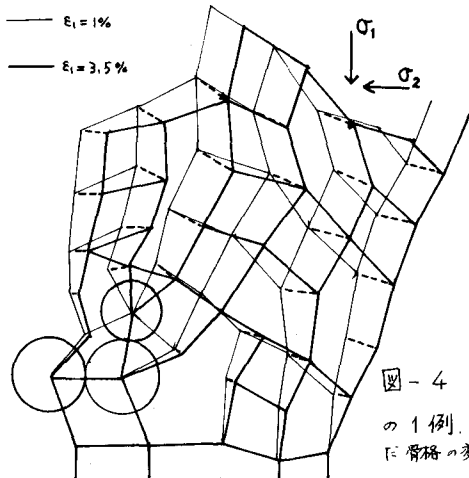


図-4 せん断領域の一例。粒子中心と結ぶ骨格の変形を示す。