

二次元粒状体の変形特性について

徳島大学工学部 正員 高橋 政一
徳島大学大学院 ○ 学生員 稲田 勉

1. まえがき

砂のような粒状体のせん断変形に対する抵抗は粒状体みずからの構造を変化させることによって発揮される。そしてその外力を上まわる外力によって破壊する。従来より行なわれてきた粒状体の変形・強度機構に関する研究は、粒子間のすべりだけを問題にし、特にせん断面上の現象として取り扱っている。粒状体の構造変化は粒子間のすべりだけでなく、ころがり、粒子の破碎、弾性変形などにより生じ、粒子間すべりのみでは説明できない。

ここでは粒状体の変形・強度機構を解明する第1歩として粒子間の変形特性のうち特にころがりに注目し、粒子構造および粒子間摩擦角 ϕ_m の違いがころがり発生に及ぼす影響について調べた。そしてこれらの結果をもとに、粒子のころがりや粒状体の変形機構およびせん断領域発生機構に与える影響について若干の考察を試みた。

2. 試験方法

粒子間摩擦角が異なるアルミニウム ($\phi_m = 19.5^\circ$) とポリテトラフルオロエチレン (以下 PTFE と略す) 樹脂 ($\phi_m = 3.1^\circ$) で作成した円柱形粒子より成る二次元粒状体について、二軸圧縮試験を行なう。長さ 15 mm 、直径 10 mm のこれらの粒子を、圧縮方向 250 mm 、側方向 150 mm のせん断箱内に規則的に配列する。せん断箱は2つの固定枠と2つの移動枠、すなわち圧縮力を加える枠と側方荷重を加える枠とで構成され、2方向から主応力を加えることができる。またせん断箱は円柱形粒子を任意の密度に詰めることができるように水平方向に設置してある。せん断箱の底板には円柱形粒子との摩擦を減少させるために PTFE 板が敷いてある。

粒子は図-1 に示すように規則的に配列する。図中の β は圧縮力方向と粒子接触点の接線方向となす角である。粒状体の初期構造は、最密詰め状態 ($\beta = 60^\circ$) よりゆる詰め状態 ($\beta = 37^\circ$) まで変化させる。

このように準備した供試体を、一定の側方荷重のもとで、 0.5 mm/min の軸方向変位速度で圧縮せん断する。軸変位 0.5 mm 毎に圧縮を中止し、圧縮力はそれを測定するアルーベンゲリングの値が一定値に落ち着いてから読み取った。同時に側方変位をダイヤルゲージで測定し、また粒子の回転、粒子移動および間けき比を読み取るために写真撮った。なお回転量を測定するために粒子円柱断面の半分をマジックインキで塗りつぶしてある。

3. 試験結果と考察

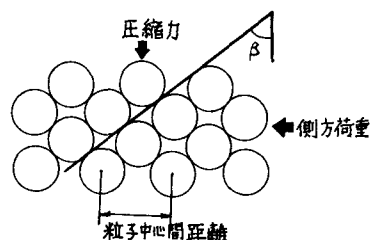


図-1. 粒子配列

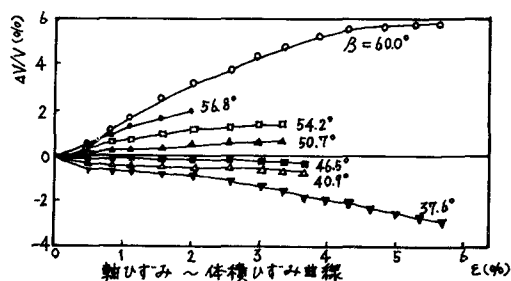
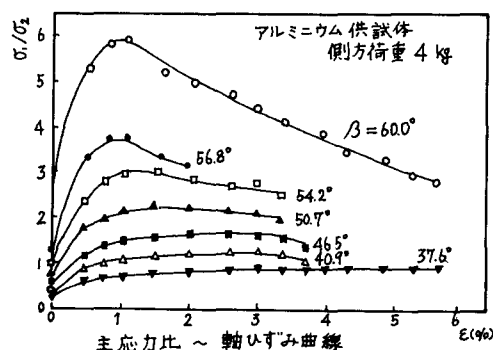


図-2. 応力 ~ ひずみ ~ 体積変化の関係

アルミ供試体で求まる、側方荷重4 kgの場合の応力～ひずみ～体積変化の関係を図-2に示す。PTFE供試体も同様であるが、密詰めの場合では比較的小さいひずみにおいてピーク主応力比を示した。その後ひずみの増加とともに主応力比が大きく減少し、最後に供試体の崩壊が生じた。一方ゆる詰めの場合、比較的大きいひずみにおいてピークを示し、その後の主応力比の減少はほとんどみられなかった。

最密詰めの場合($\beta = 60^\circ$)、アルミ、PTFE供試体ともにピークまでは粒子の相対移動はほとんど認められなかった。すべり領域はピークを示したのちに形成された。そしてこれにより供試体は粒子間の移動特性が異なる4つの領域に分割された(図-3)。領域Iは圧縮荷によって押し込まれるクサビ領域、IIはすべり領域である。領域III、IVではほとんど粒子構造は変化しない。ゆる詰めの場合は($\beta = 57.2^\circ \sim 38.5^\circ$)粒状体全体が均等に圧縮され、すべり領域は認められなかった。

図-4に粒状体の初期構造が変化したときの粒子1個当りの回転量の差異を示す(ピーク時)。アルミ供試体では、 $\beta = 60^\circ \sim 46.5^\circ$ の場合構造にかかわらず回転量はほぼ一定であるが、 $\beta = 41.8^\circ$ 、 38.5° の場合は回転量が大きい。PTFE供試体では構造 β の違いによる回転量の変化はあまり見られない。

最密詰めの場合の供試体において、圧縮にともなう粒子1個当りの回転量と間げき比の変化を領域別に求め、図-5に対応させて示した。図より明らかなように、アルミ供試体の領域Iを除いて粒子回転量と間げき比の間に相関性がある。アルミの領域Iでは回転量が領域IIのものより大きいにもかかわらず間げき比が小さくなっている。このことは領域Iでの回転は粒子相互の相対移動をとまなうところがりではなく、たに粒子個々が周囲の粒子で作られる拘束枠の中で回転しているものだと考えられる。一方領域IIにおける粒子回転は間げき比の増加をとまなっている。これは粒子相互間のところがり現象と考えられる。これより体積膨張には粒子のところがりが必要であることがわかる。すべり領域はこの間げき比が大きい膨張領域が形成されたのち、その領域内で発生した。PTFE供試体では粒子回転量と間げき比が領域別にあまり変化せず、供試体内での粒子移動特性が領域別に異なるのではなく、ほぼ同一であると考えられる。

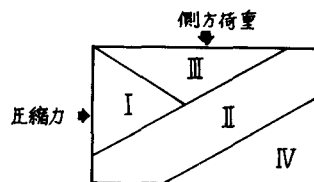


図-3. 供試体の分割

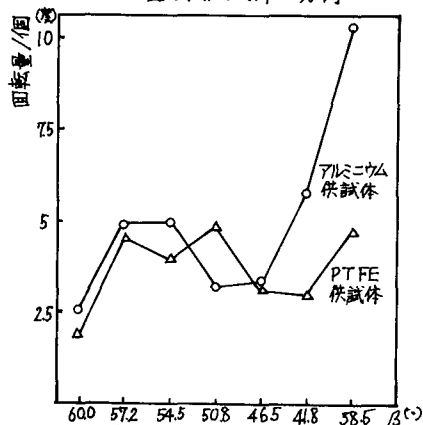


図-4. 初期構造の変化に対する回転量の差異

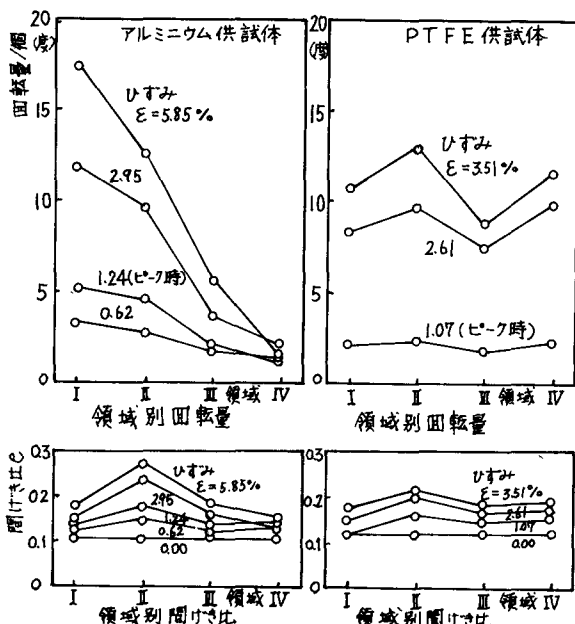


図-5. 領域別回転量および領域別間げき比