

粒状体のモデル実験による粒子形状と剪断強度との関係について

東北大学工学部 正 員 佐武正雄

東北大学大学院 学生員 ○野沢遼男

1. まえがき

粒状体の力学的性質は、粒径・粒度分布・粒子形状・間隙比・粒状体中の間隙の分布などの粒状体の種類と状態のさまざまな要素によって規定される。それらの要素の中で、粒子形状は、力学的性質にかなり大きな影響を及ぼすと思われる。これを定量的に取扱うことには、いろいろの困難があり、形状と力学的性質との関係の考察は従来、あまりなされていなかった。そこで本研究は形状表現の一提案として、スペクトル密度の概念を用い、電子計算機によって粒子の分類を試み、更に、形状と剪断強度との関係を粒状体の二次元モデル(図-1)の一面剪断試験によって研究し考察したものである。

2. 粒子形状の表現法

この方法は、粒子の図心を中心とする粒径の平均値を求め、この平均の粒径に対して、粒径の変動偏差をスペクトル解析し、そのスペクトル密度を以て形状の量的表現として、粒子を分類しようとする方法である。この場合、スペクトル解析の横軸(周期)は、 $f_0 = 1/2\pi$ を単位と考える。

図-1に示す10個の粒子をこの方法で分類すると、一応形状だけに限定すれば、これらの粒子は(1, 2, 3, 4, 5, 6)と(7, 8, 9, 10)の2つのグループに分けることができる。更に、大きさを考慮したいときには、平均粒径、面積などによる分類と組み合わせればよい。

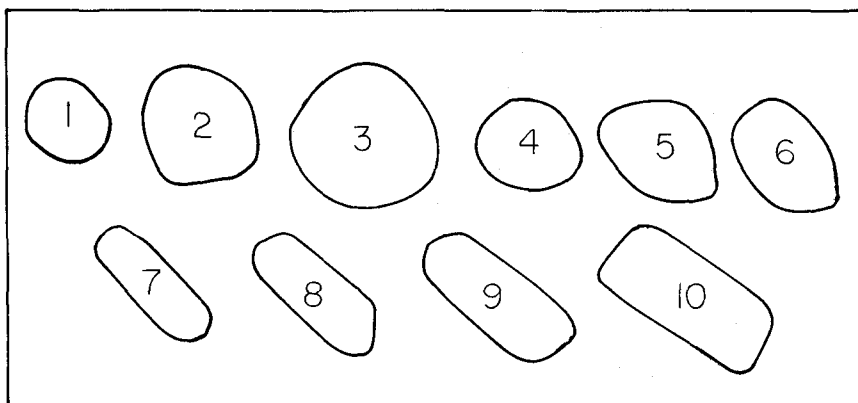


図-1

3. 剪断試験の装置および方法

試験装置は写真-1に示すような下部可動型一面剪断試験装置であり、一定の水位を保つ貯水槽からゴム管によって時間的に一定な水量を供給し、それによって等速度の荷重を得る応力制御方式である。剪断箱は、30cm X 30cm X 1cmであり、側圧方向は可動になっている。底板および剪断棒は塩化ビニール板でできている。使用する粒子は円形のものとし、偏平度(短径/長径)で普通あらわされる。)の異

なる2種の楕円（偏平度の小さいものを楕円Ⅰ，大きいものを楕円Ⅱと呼ぶことにする。）の計3種類であり，いずれも塩化ビニールパイプに石こうをつめたものである。それらは平均粒径が，円形，18.00mm，楕円Ⅰ 17.52mm，楕円Ⅱ 17.60mmである。試験は，一つの粒状体につけて，最密な状態のほか，適当に間隙比を変えたものを計3種類について行なっている。そして，一つの組み合わせについて，14回の試験を行ない，上下両極端の値を最大2個ずつまで除いて，残りの値を平均して剪断強度を求めた。なお剪断強度は，荷重方向に15%のひずみを，すなわち，45mmの変位を生じる荷重を初めの剪断面積で割ったものをもって表わすことにした。破壊の基準を15%のひずみとしたのは，この状態より以降は，ほとんどの粒状体で，その構造が載荷前の構造と全く異なり，つまり，剪断強度が著しくばらついてしまうという理由からである。一般に，この種の試験装置では，側面摩擦の影響があらわれる。しかし，この側面摩擦の測定が困難であることから，この値をも含めて剪断強度としている。本研究においてもそれにらっている。

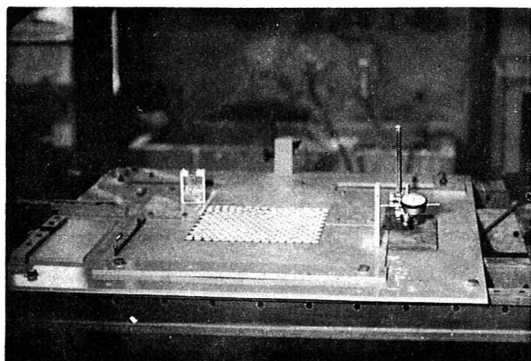


写真-1 試験装置

4. 結果と考察

結果を述べる前に，本試験で用いた粒子のスペクトル密度を表にして掲げる。

粒子 \ f	スペクトル密度										
	0	f ₀	2f ₀	3f ₀	4f ₀	5f ₀	6f ₀	7f ₀	8f ₀	9f ₀	10f ₀
円	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
楕円Ⅰ	0.01	0.00	1.365	0.00	0.05	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
楕円Ⅱ	0.00	0.00	4.025	0.00	0.46	0.00	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00

表-1 (単位: 10^{-2}cm^2)

本表は，前に述べたように， $f_0 = 1/2\pi$ の整数倍の周波数のスペクトル密度を，デジタル計算機によって離散的に求めたものである。 f が大きくなるということは，粒子表面の凹凸が多くなるということを意味し，そのスペクトル密度の強弱が，凹凸の大きさをあらわしている。また，球（二次元ならば円）の場合はスペクトル密度があらゆる周波数にわたってあきらかに零である。以上のようなことを考えてみると，周波数とスペクトル密度は粒子相互のかみあわせと密接に関連しているとみることができる。本研究では，粒子一個のスペクトル密度の総和を以て粒子形状の定量的表現とした。また，この量にもとづいて，与えられた粒状体のもつ形状を量的に表現するのであるが，ここでは，粒状体を構成する粒子のスペクトル密度の総和を粒状体の面積で割ったものを以てあらわすこととした。

図-2は，上で定義した量，粒状体の単位面積(1cm^2)当りのスペクトル密度 S/cm^2 を横軸に，剪断強度 $\tau (\text{kg}/\text{cm}^2)$ を縦軸にとってプロットしたものである。この図をみると，上述のような形状の表現と，剪断強度とは，ほぼ線型の関係にあると考えられる。この関係は一つの種類の粒状体について見

られるものであるが、他の種類の粒状体もそれぞれ、ほぼ線型性をもち、その勾配はほぼ等しいと認めることができる。したがって、こうした形状の量的表現は粒状体の力学的性質を調べるにあたって、一つの有効な方法ではないかと思われる。

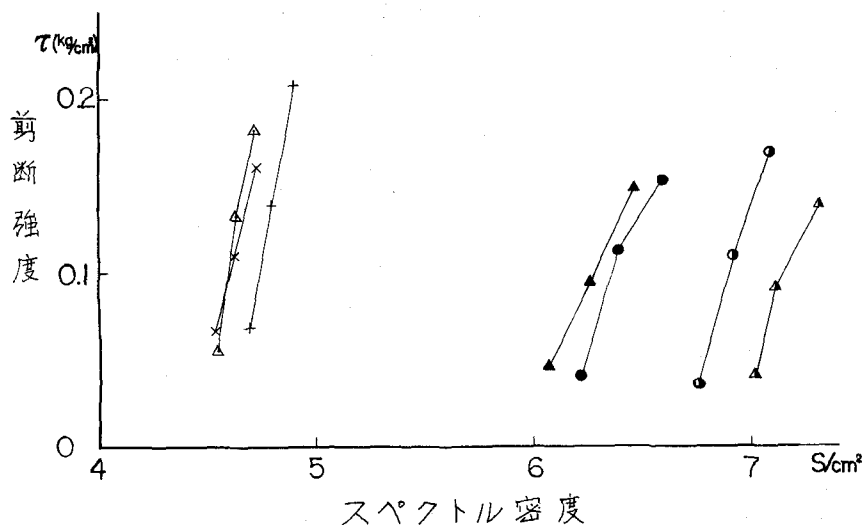


図-2

凡 例

なお、間隙比も剪断強度と密接に関係すると思われるので、図-3 にこの関係をプロットする。

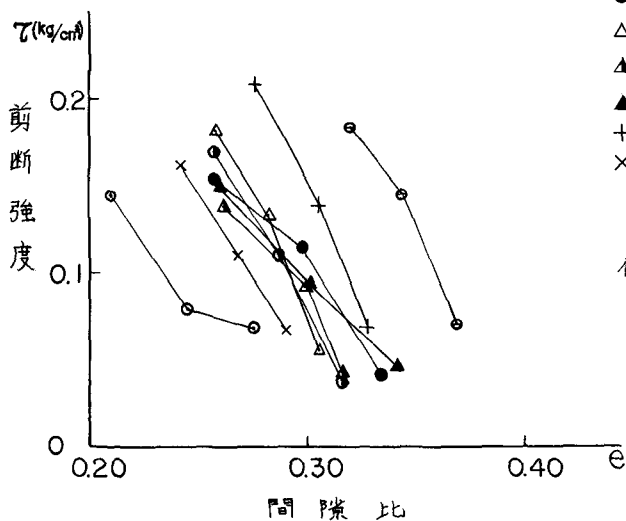


図-3

- 円 274
- ⊖ 楕円Ⅱ 360
- 円 35 楕円Ⅰ 200 楕円Ⅱ 80
- 円 100 楕円Ⅰ 100 楕円Ⅱ 100
- △ 円 72 楕円Ⅰ 200 楕円Ⅱ 32
- ▲ 円 60 楕円Ⅰ 150 楕円Ⅱ 100
- ▲ 円 70 楕円Ⅰ 150 楕円Ⅱ 80
- + 楕円Ⅰ 300
- × 円 200 楕円Ⅱ 100

ここに、数字は、各種類の粒状体の混合数量を示す。

図-3からわかるように、同じ間隙比なる偏平度の大きな粒状体ほど強度が大きくなっていることがわかる。しかし、間隙比というパラメーターを考慮しない場合、単に、偏平度が大きくなるからといって最大強度が必ずしも大きくなるわけではないようである。ここで行った実験の範囲では土印の資料の場合、最も大きな強度を手欠している。また、間隙比についていえば、粒子が偏平になるほど、最小間隙比は大きくなる。また、粒子の混合よりなる粒状体の最大間隙比は、この粒状体を構成する粒子が、単一で粒状体を構成している場合にあらわれる最大間隙比の最大と最小の間にあり、最小間隙比についても同様の傾向があることが認められる。

5. あとがき

以上述べたように、剪断強度と偏平度とのあいだには相関関係があると思われる。またここで提案した形状の量的な表現は、剪断強度を調べる上でかなり有効であると思われる。しかし、任意形状の場合、単に総スベクトル密度として形状を表現していいものかどうかということは、まだ考へねばならないことであろう。なお、今回は楕円の場合についてのみ取扱い、粒子形状として偏平度のみを調べたが、任意形状の場合の取扱いは、今後の課題としたい。

参考文献

- (1) 香山元寿 粒状体の剪断特性に関する粒子の形の影響、第24回土木学会年次学術講演集(1969)
- (2) 三笠正人・高田直俊・望月秋利・三輪重昭 土粒子形状の一試験法、同講演集(1969)