

東北大学 正 員 佐武正雄
東京電力 正 員 園部保典

1. まえがき

粒状体の力学的性質を調べる上で、粒状体を構成する個々の粒子の形状の特性を把握することは重要であると考えられる。従来、このような観点から粒子形状の定量的表現方法に関する提案がいくつかなされてきたが、これらはいずれも個々の粒子について手作業を介して求められるため、非常に煩雑で主観が入りやすいという欠点をもつと思われる。著者らは種々の2次元粒子モデルについて、画像読取装置およびコンピューターによるデータ処理を行なうことにより、形状解析を自動化し、新たな粒子形状の表現方法とroundness¹⁾との比較検討を行ない、また一面セン断試験により新たに提案した粒状体の定量的表現方法とセン断強度との関係について考察したので、その結果について述べる。

2. 解析方法

砂利等の平面への射影形を画像読取装置(フォトパターンアナライザーPPA-250型)を用いて読み取り、そのデータ(縦1.0mm、横0.8mmおきに濃度値をディジタル化したもの)をもとに粒子の重心および粒子の周辺上の点(n個とする)の座標値を求め、以下に記す基礎的量および形状パラメーターの計算を行なった。

r_i : 重心Gから粒子周辺上の点までの距離($i=1, 2, \dots, n$)

$\bar{r}_a$: 平均径(r_i の平均値)

$$C_k = (a_k^2 + b_k^2) / a_0^2 \quad (k=1, 2, 3, \dots; a_k, b_k \text{ はフーリエ係数})^{2)*}$$

$$S_k = \left\{ \sum_{i=1}^n \left[\sum_{j=1}^n (|r_i - r_j|)^k / n \right]^{1/k} \right\} / (k-1) \quad (\text{特に } S_2 \text{ は粒子径の平均径からの標準偏差に相当})^{3)}$$

* (重心Gを原点とする極座標(r, θ)において $r = r_i(\theta)$ は周期 2π の関数である。これをフーリエ級数に展開することにより a_k, b_k が求まる)

3. 考察

粒子の重心Gから周辺までの距離を動径と呼ぶことにすると形状パラメーター C_k において、 C_k の最大値を与える k の値は、この動径の中に含まれているさまざまな周期のうちどれが最も卓越しているかを示すものと考えられる。例えば $k=3$ において C_k が最大となる場合は、 $2\pi/3$ を周期とする成分が卓越することになり、 $2\pi/3$ の角度をなす方向の凹凸の含まれる度合いが最も大きいことを示すものと考えられる。従って形状パラメーター C_k は粒子の全体的な形状をよく表現するものと思われる。次に形状パラメーター S_k を次のように分解する。

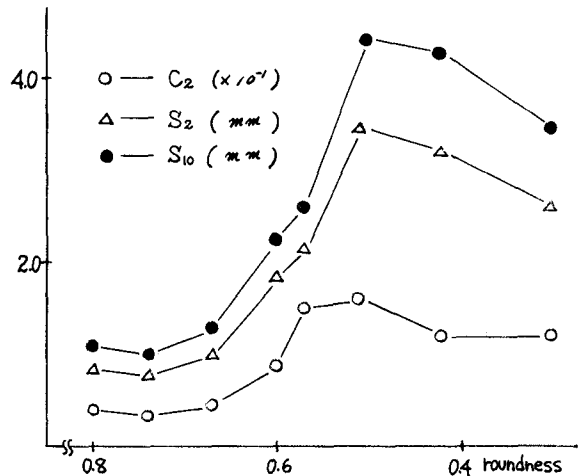


図-1 roundnessと各形状パラメーターとの関係
($k=2$ で C_k が最大となる粒子9例)

$$S_k = \sum_{k=2}^K \Delta_k, \Delta_k = [(\sum_{i=1}^n |r_i - r_a|^k) / n]^{1/k}$$

Δ_k は $k=2$ 付近では粒子の細かな凹凸の影響をあまり受けて、形状パラメーター C_k と同様に粒子の全体的な形状を示し、 k の値が大きくなるにつれて、粒子の細かな凹凸の存在をよく示すものと考えられる。従って形状パラメーター S_k ($k=10$ 付近)は粒子の全体的な形状と共に、比較的細かな部分をも表現したパラメーターと考えられ、粒子の丸味や回転しやすさの度合をよく表現するものと思われる。

図-1, 2は解析した代表的な粒子について、従来提案されている roundness と C_2, C_3, S_2, S_{10} などの関係を示したものである。同図から roundness と他のパラメーターとの間には単純な対応はないように思われる。 C_2, C_3, S_2, S_{10} はほぼ同じような傾向を示しているが、粒子の形が複雑になるにつれ、 S_2 と S_{10} の差が大きくなる傾向が見られる。これは前にも述べたように S_{10} のほうが粒子の細かな部分の影響を強く受けるために差が大きくなるものと考えられる。

図-3はほぼ roundness の等しい粒子について S_k の値を示したものである。同図よりわかるように、明らかに扁平度の異なる粒子でも roundness がほぼ同じ値になるものがある。このような粒子については、本来何らかの差を与えるのが自然と考えられる。以上のことを考慮すると形状パラメーター S_k のほうが粒子の形状をよく表現しているのではないかと思われる。

次に粒状体全体の定量的な表現を行なう試みとして、粒状体を構成する粒子の S_{10} を合計し、その純面積に割った値(2)を求めた。Σとセン断強度(2次元粒状体モデルの実験結果)との関係を示したのが図-4である。³⁾ 同図からわかるようにΣとセン断強度との間にはかなりの相関が認められ、粒状体の定量的表現としてΣがかなり有効であると考えられる。

4. あとがき

本文では形状解析を自動化し、新たに提案した形状パラメーター S_k と roundness との比較などを行ない S_k の有用性を示した。また粒状体の定量的表現方法について提案し、それと粒状体のセン断強度との関連について調べた。今後、破石のような粒子についても解析を行ない Angularity などとの比較検討を行ない、粒状体の多様な力学的性質との関連について研究を進めたいと考えている。

参考文献 1) 最上武雄, 土質力学, P896~904, 技報堂, 1969

2) 佐武正雄, 田野久寛, 菊地実, 粒状体の形状判定と分類の方法について, 第28回土木学会年次学術講演会講演概要集Ⅲ, 1973, p88

3) 佐武正雄, 岸野佑次, 園部保典, 粒状体の粒子形状の解析について, 土木学会東北支部技術研究発表会講演概要集, 1976, p11

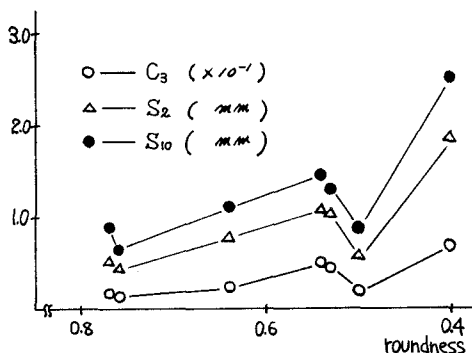


図-2 roundness と各形状パラメーターとの関係
($k=3$ で C_k が最大となる粒子の例)

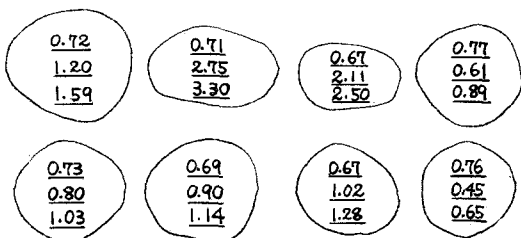


図-3 roundness と S_2, S_{10} との関係
上段- S_2 , 中段- S_{10} , 下段- S_{100}

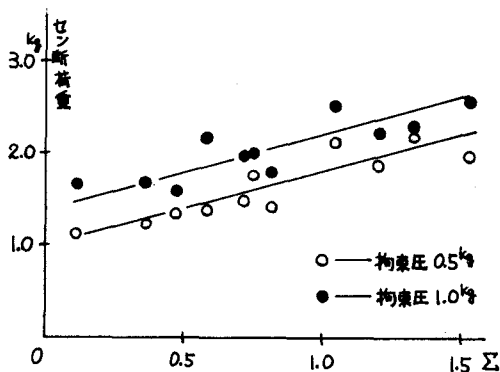


図-4 Σとセン断強度との関係