

粒子形状の評価方法の整理と3種類の粒子の形状評価

名城大学理工学部 正会員○板橋 一雄 学生員 木村 哲晃
 学生員 姫野 圭 学生員 神谷 圭吾
 学生員 工藤 淳志

1. はじめに 土質材料の物理的・力学的特性は、種々の要因に依存されている(例えば、三笠, 1964、小田, 1978)。その中で、粗粒の土質材料の一次的性質には、①材質、②粒度組成、③粒子形状が挙げられている。この報告では、この中の粒子形状に着目した。その理由は、本研究室において現在、海砂・川砂・まさ土を用いた充填特性やせん断特性の実験的研究を実施しているが、たとえ粒度組成を同じにしても、充填・せん断特性に大きな差異の現われることが明らかになり、その差異を粒子形状の相違によって説明が可能かどうかを知りたいと考えたためである(なお、材質の相違に関しては、今後考えて行きたい)。そこで、最初に、粒子形状の評価方法に関する文献調査を実施し、5種類の方法の特徴を取りまとめた。また、本研究室で実験に用いている海砂・川砂・まさ土の粒子形状の評価を試みたので、ここに報告する。

2. 粒子形状の評価方法 粒子形状の評価方法を調査した。5つの方法の特徴とともに以下に示す。

①三軸径による表現…粒子が収まる直方体の箱を考え、その各辺の長さ(長軸 a 、中軸 b 、短軸 c)で表現する方法。最も安定する方向に粒子を置き、その高さが短軸 c となる。また、粒子の平面外形を最も細長くなる長方形で囲み、その各辺を長軸 a 、短軸 b とする。Zingg(1935)やSneed & Folk(1958)は、これらの三軸径の種々の比率によって粒子形状の分類を試みている。なお、後述の細長比 $L = (\text{長軸 } a / \text{短軸 } b)$ と定義している。

②球形度 S 、円磨度 R による表現…堆積学の分野で提案されている球や円を基準として表現する方法。

Wadell(1935)は球形度 S を粒子の表面積と同体積の球の表面積の比として定義している。平面図形に対しては、同じ面積を持つ円の直径と外接する最小円の直径の比と定義されている。なお、ここでは後述の方法で球形度 S を求めている。また、Wadellは円磨度 R を粒子のすべての角に内接する円の半径の平均と内接する最大円の半径の比と定義した。個々の粒子に対してこれを求めることは容易ではなく、一般には、Krumbein(1941)、Powers(1953)、Pettijohnら(1975)の視覚印象図が用いられている(視覚印象図や円磨度による評価は別の機会に報告する)。

③吉村の凹凸係数 FU 値による表現…吉村・小川は金属組織学の分野の形状表現方法を参考にし、平面の粒子外形の面積と外周長の比を考えている。円の場合を基準($FU=1$)として、凹凸の度合いが激しくなるほど値の小さくなる凹凸係数 FU を定義している。

④フラクタル次元 D による表現…Mandelbrotの提案するフラクタル次元 D を用いる方法。Mandelbrotがフラクタル幾何学を提案して以来、海岸線、岩盤の亀裂、コンクリートやアスファルト舗装のひびわれなど、種々の分野でフラクタル次元が求められている。粒子形状の評価に対しては、Kaye(1978)や Vallej o & Zhou(1995)の研究がある。なお、フラクタル次元の求め方には種々の方法があるが、ここでは、「一定長さの線分集合に近似させる方法」を用いた。

⑤フーリエ係数による表現…粒子平面形状の重心を中心とした極座標表示とフーリエ解析を行ない、種々の係数で表現する方法。Schwarcz & Shane(1969)は、粒子の平面図形をフーリエ解析し、フーリエ係数の二乗和や絶対値の和、計測値と計算値の誤差がある値となる次数などを、形状パラメータとして提案している。フーリエ解析を利用した研究には、Meloy(1977)、山口・遠藤ら(1979)の研究などがある。なお、紙幅の都合で、フーリエ解析の結果はここでは述べてない。

3. 採取試料と評価方法 粒子の形状解析に用いた試料は、海砂、川砂、まさ土である。それぞれの材料

の採取場所は、和歌山県熊野市の海岸（熊野灘、鬼ヶ城付近）、岐阜県笠松町地内の木曽川（河口から42km地点）、愛知県藤岡町地内の花崗岩地帯の斜面である。採取した材料をよく水洗いし、JIS 規格ふるいで篩い分け、粒径4.00～4.75mmの粒子を集めた。それぞれの粒子を顕微鏡で約9倍に拡大し、スケールとともに写真撮影を行なった。その写真をスキャナーによってパソコンに取り込んだ後、ビットマップによって、外形座標を読み込んだ。なお、最終的な粒子の拡大率は、1cm当たり約1000ビットとし、一粒子を300～400点（約5～6ビット間隔）で近似した。海砂、川砂、まさ土それぞれ9粒子の分析を行なったが、その内の代表的な粒子の図形を図-1に示した。一見しただけで、粒子形状や表面特性の大きな相違がわかる。すなわち、海砂は丸みを帯び、川砂の外形にはやや凹凸が見られ、まさ土に至っては激しい表面の凹凸のあることがわかる。このようにして作成した粒子形状データから、長軸a、短軸b、面積、周長を求め、細長比Lや凹凸係数FU値を計算した。また、フラクタル次元Dの計算では、セグメント長さrあるいは繰返し回数Nの範囲の取り方が問題となるが、今回は、 $N \cong 10 \sim 600$ とした。

4. 粒子形状の評価結果 フラクタル解析の結果の一例を図-2に示す。各粒子のフラクタル次元Dの大きさの順序は、まさ土>川砂>海砂となっている。

各9粒子のフラクタル次元Dの平均値±標準偏差の値は、まさ土=0.06～0.30、川砂=0.31～0.61、海砂=0.67～0.89となっており、粒子の表面の凹凸の程度を適切に表現していることがわかる。図-3には、フラクタル次元Dと細長比L、吉村の凹凸係数FU値との関係を示している。細長比Lあるいは凹凸係数FUのみでは、海砂、川砂、まさ土の3種類の区分ができないが、フラクタル次元Dが異なるため、図上での分布位置に明確な相違が現われ、区分できることがわかる。

5. まとめ 今後、解析する粒子数を増し、粒子形状を表現する指標の平均値やばらつきの程度、各指標間の関係、円磨度の視覚印象図の分析、フーリエ係数による分析などを進めていきたい。さらに、粒子形状と充填特性、せん断特性との関係を明らかにしていきたい。

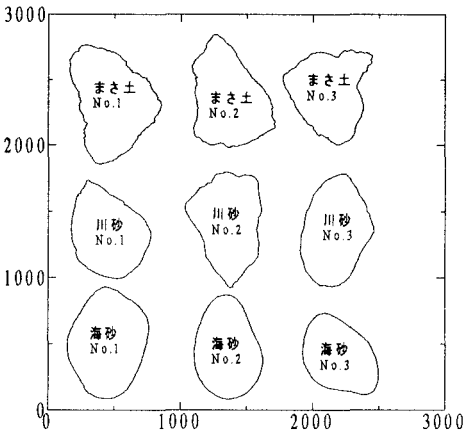


図-1 分析した代表的な粒子形状

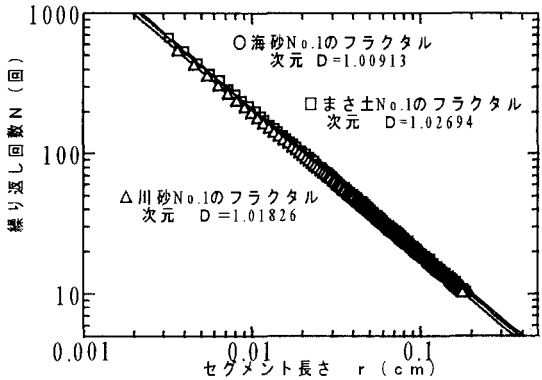


図-2 代表的な粒子のフラクタル解析の結果

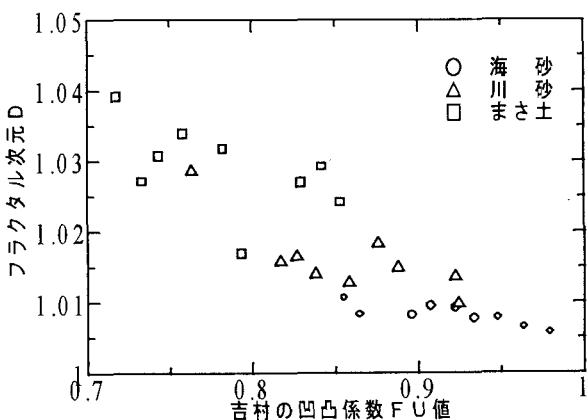
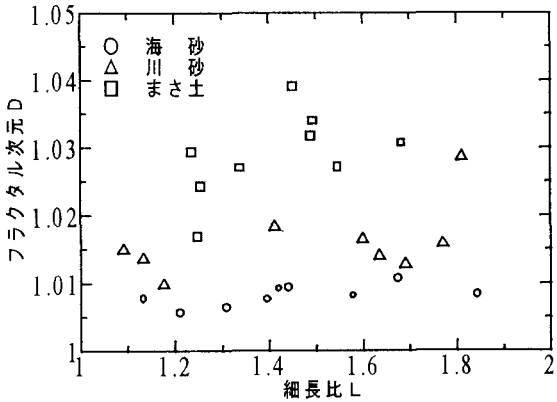


図-3 フラクタル次元Dと細長比L、吉村の凹凸係数FU値との関係