

種々の粒子形状パラメータによるKrumbeinの視覚印象図の評価

名城大学大学院 学生員 ○神谷圭吾・姫野 圭
名城大学理工学部 正会員 板橋一雄

1. はじめに

粗粒の土質材料の物理的・力学的性質に影響を与える要因の一つに粒子形状が挙げられている。種々の粒子形状の評価方法が提案されてはいるが、それらの関係や長所・短所、物理的・力学的性質との関係などは、まだ十分には検討されていないと思われる。そこで、粗粒土質材料の粒子形状の評価方法を整理するとともに、研究の第一段階として、Krumbeinが示した円磨度の視覚印象図の形状解析を行ない、種々の形状パラメータの比較を行なったので、ここに報告する。

2. 種々の粒子形状表現方法とKrumbeinの視覚印象図 粒子形状の評価方法は種々の分野で研究されているが、堆積学の分野での研究が最も早い。この堆積学の分野では、三軸径による表現がなされている。これは、粒子が収まる細長い直方体の箱を考え、その各辺の長さ（長軸 a 、中軸 b 、短軸 c ）で表現する方法である。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とそれらの関係によって粒子形状の分類を試みている。また、Wadell(1935)は粒子の表面積と同体積の球の表面積の比として、球形度を定義している。これらの形状表現方法は、粒子の全体形状を捉える試みと考えられる。一方、粒子の角のみに注目して、円磨度が定義されている。Wadellは、粒子の一つの角に内接する円の半径をすべての角について求め、その平均値と粒子に内接する最大円の半径の比として、円磨度を定義している。個々の粒子に対して円磨度を求めることは容易ではないので、一般には、Krumbein(1941)¹⁾、Powers(1953)、Pettijohnら(1975)の視覚印象図が用いられている。この内、Krumbeinの視覚印象図では円磨度RNを0.1から0.9までの9段階に区分し各円磨度の粒子が9個ずつ示されている。粒子の大きさや形状が種々あり、表面の凹凸の相違が明瞭にわかる。

吉村・小川(1993)²⁾は、金属塑性学の分野の形状表現方法を参考にし、平面図形の面積と外周長の比を考えている。円の場合を1となるように基準化し、凹凸係数FUを定義している。Schwarcz & Shane(1969)³⁾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、ある特定な次数などを形状パラメータとして提案している。その他にも、Meloy(1977)、山口・遠藤(1979)の研究などがある。また、Mandelbrotがフラクタル幾何学を提案して以来、海岸線や岩盤の亀裂の評価など、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も、Kaya(1978)、Vallejo & Zhou(1995)⁴⁾の研究がある。特にVallejoらはKrumbeinの視覚印象図の形状解析を行ない、フラクタル次元と円磨度が一次式の関係にあることを示している。

3. 形状データの作成と解析 Vallejoらと同様、視覚印象図の粒子図形のフラクタル解析を行なった。これらの図形をデジタイザーによってパソコンにビットマップデータとして入力し、外形座標をビットマップで読み取った。一図形を250~400点(5~6ビット間隔)で近似した後、フラクタル次元FDを求めた。図形を近似した点数に大きな幅ができた原因は、粒子の大きさの相違のみではなく、表面の凹凸の影響が現われたものと考えられる。なお、フラクタル次元を求めるには、幾つかの方法があるが、ここでは、「一定長さの線分集合に近似する方法」を用いた。これらの図形は、完全な自己相似性を有していないので、セグメント長さや繰返し回数の範囲の取り方によって、フラクタル次元の値が異なる⁵⁾。そこでここでは、繰返し回数 $N_f=10\sim600$ と幅広い範囲に統一した。

この外形座標のビットマップデータを利用して、種々の形状パラメータが計算できる。細長比 L は、直交する二方向の長さの比(長軸 a / 短軸 b) が最も大きくなる値を取った。また、計算される面積と周長から、吉村の凹凸係数FUを計算した。さらに、球形度 S 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して計算した。また、粒子の中心から表面までの距離の変動係数 δ も計算した。

キーワード：粗粒土、粒子形状、フラクタル次元、円磨度

連絡先：名城大学理工学部建設システム工学科

(〒468-8502 名古屋市天白区塩釜口1-501, Tel. 052-832-1151, itabashi@meijo-u.ac.jp)

4. 種々の形状パラメータの比較

ラメータの比較

円磨度を含め、以上に示した6種類の粒子形状パラメータ(RN, FD, L, FU, S, δ)を組み合わせて15組の図を描いてみた。その中で、相関性が顕著に見られる7組の図を、図-1に示してある。

(a)円磨度RNとフラクタル次元FDとの関係からは、今回計算したFDの値が、Vallejoらの値よりも小さくなっていること、Vallejoらが示した一次式のRN~FD関係ではなく図中に示した二次式の適合性が高くなっていることがわかる。

(b)円磨度RNと吉村の凹凸係数FUの関係(c)細長比Lと球形度Sの関係、(d)細長比Lと距離の変動係数δの関係、(e)球形度Sと距離の変動係数δの関係は、高い相関性が認められている。また、(f)吉村の凹凸係数FUとフラクタル次元FDとの関係ならびに(g)球形度Sとの関係では、各円磨度毎に比較的高い相関性を示し、特に、円磨度の高い粒子では、ほぼ平行の関係が認められている。

5. まとめ Krumbeinが示した円磨度の視覚印象図の粒子を形状解析し、種々の形状パラメータによって表現し、比較した。円磨度とフラクタル次元ならびに吉村の凹凸係数の三者の相関性の高いこと、フラクタル次元と球形度、細長比との相関が認められないことなどが明らかになった。

参考文献 1)Krumbein, W. C.: Measurement and Geological Significance of Shape and Roundness of Sedimentary Particles, Jour. of Sedimentary Petrology, Vol. 11, No. 2, pp. 64~72, 1941. 2)吉村優治・小川正二:砂のような粒状体の粒子形状の簡易な定量化, 土木学会論文集, No. 463/III-22, pp. 95~103, 1993. 3)Schwarcz, H. P. and K. C. Shane :Measurement of Particle Shape by Fourier Analysis, Sedimentology, Vol. 13, pp. 213~231, 1969. 4)Vallejo, L. E and Y. Zhou:The Relationship between the Fractal Dimension and Krumbein's Roundness Number, S & F, Vol. 35, No. 1, pp. 163~167, 1995. 5)神谷圭吾・姫野圭・板橋一雄:フラクタル次元による粗粒土質材料の粒子形状の評価, 第36回地盤工学研究発表会(投稿中), 2001.

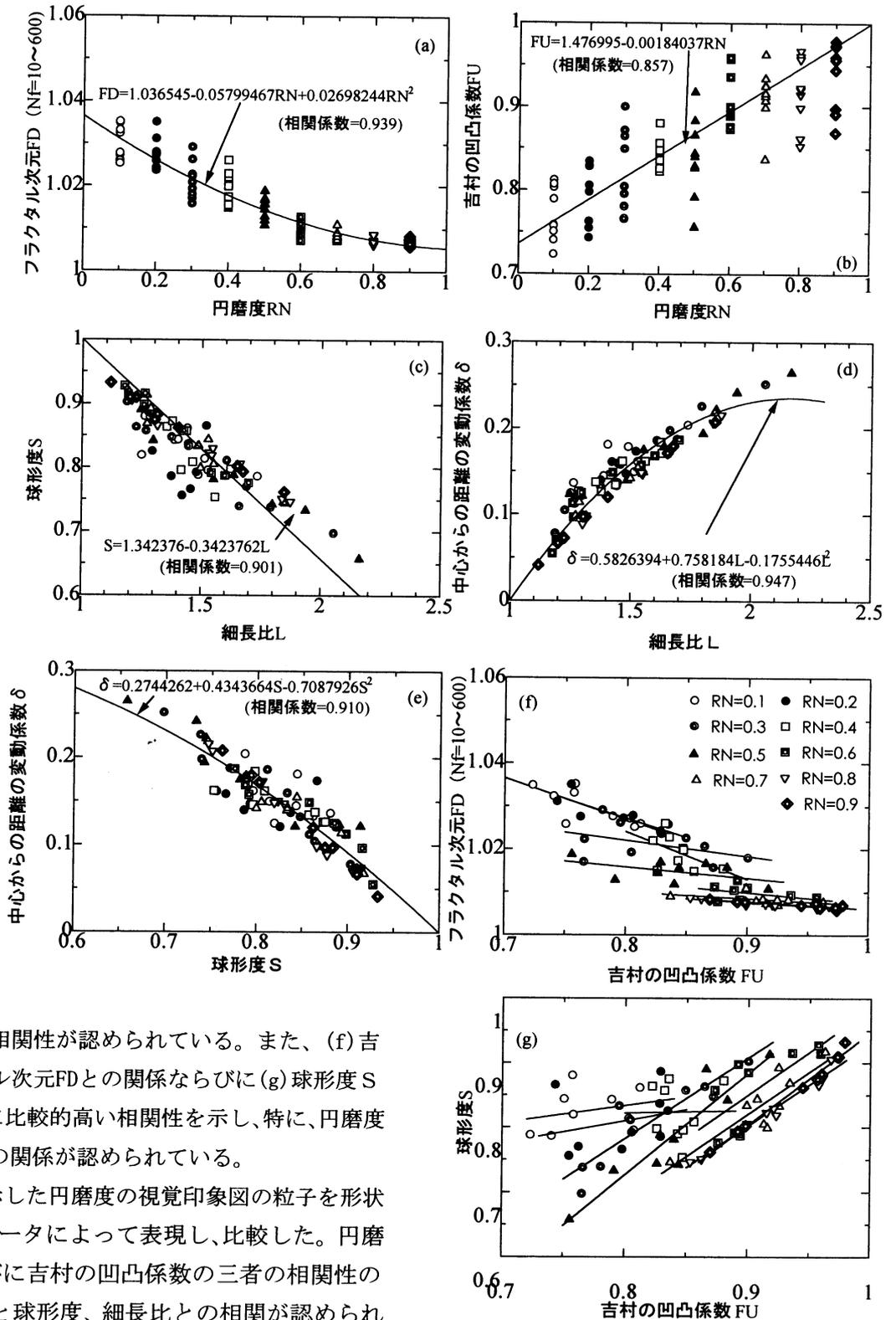


図-1 種々の粒子形状パラメータの比較