

名城大学 理工学部 学生員○塚本将康 学生員 姫野 圭
学生員 大石康雄 正会員 板橋一雄

1. はじめに 堆積学の分野では礫層を見る際の重要な情報として、基質と礫の含有率、堆積構造、礫種、粒径、粒度、粒子形状、表面組織、鉱物組成などが挙げられている¹⁾。また、地盤工学の分野においても、土の物理的・力学的性質に影響を与える要因が構成粒子自体の基本的性質と構成粒子の集合状態の二つに分けられており、粗粒土質材料の場合には、粒子の材質、粒度組成、粒子形状が構成粒子の基本的性質として重要であることが指摘されている²⁾。これらの要因の内、粒度組成については粒度曲線として評価され利用されているが、粒子の材質と粒子形状については、その表現方法が複雑なこと、物理的・力学的性質との関連が明確でないことなども原因となって、積極的に考慮されていないのが現状であろう。そこで研究の第一段階として、粒子形状と粒度の関係について調査したので、ここに報告する。

2. 土質材料の粒子形状の表現方法 堆積学の分野では古くから粒子形状の評価法が提案されている。三軸径（長径・中径・短径）の比率に着目した Zingg (1935) や Sneed & Folk (1958) の研究がある。また、円磨度、球形度、角張り度を定義し、視覚印象図を提案している Krumbein (1941) , Rittenhous (1943) , Lees (1964) の研究がある。最近では、簡便に粒子形状が測定できる方法として、吉村らは凹凸係数 FU を提案し、物理的、力学的特性との関係を明らかにするという興味ある研究を行っている³⁾。また、板橋らはフラクタル次元 FD によって粒子形状を評価し、最密充填特性との関係を明らかにしている⁴⁾。ここでは種々の評価方法によって粒子形状を表現し、比較検討をする（紙幅の都合で凹凸係数 FU とフラクタル次元 FD について図示する）。

3. 試料と解析方法 用いた試料は、最密充填実験と粒子形状解析⁵⁾に用いた粗粒の砂礫材料であり、ここでは熊野灘砂、木曽川砂として示す。それぞれの試料採取場所は三重県熊野市の海岸（熊野灘、鬼ヶ城付近）、岐阜県笠松町の木曽川の川原（河口から 42km 上流）である。JIS 規格ふるいすべてを用いて試料をふるい分け、粒度を求めた。図-1 には、その粒径加積曲線を示す。この粒径加積曲線より熊野灘砂は 2mm 以上の礫分で構成され、最大粒径 19.00mm, $D_{50}=5.02\text{mm}$, $U_c=1.72$ となっており平均粒径の粒子が多い分布形となっている。一方、木曽川砂は砂分が 22.71%、礫分が 77.29%、最大粒径 63.00mm, $D_{50}=18.56\text{mm}$, $U_c=45.8$ と粒度幅が広く、二つの粒径（0.2～1mm と 12～60mm）の粒子が多い材料となっていることがわかる。両者の粒子形状の比較を目的としたため、両者の粒度が重なる粒径 2.00～13.2mm の間の粒子を試料としている。ふるい分けた試料を水洗い後、写真-1 に示すような、JIS 規格ふるい 1 個分に相当する 6 種類の粒径（①2.00～2.36mm ②2.80～3.35mm ③4.00～4.75mm ④5.60～6.70mm ⑤8.00～9.50mm ⑥11.20～13.20mm）の各 20 粒子、合計 240 粒子を準備した。

各粒子を最も安定する向きに置き、顕微鏡で約 9 倍に拡

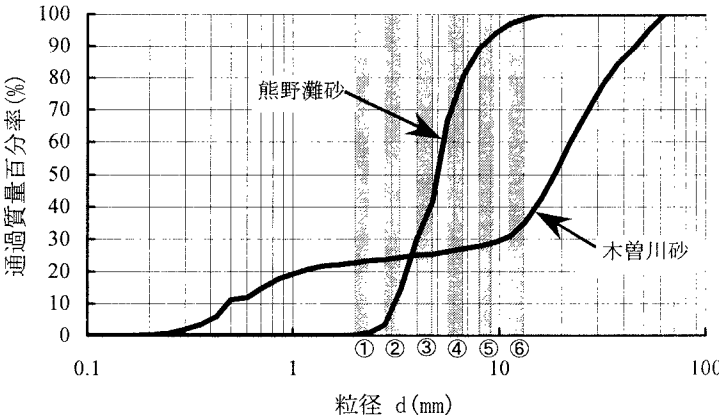


図-1 熊野灘砂と木曽川砂の粒径加積曲線

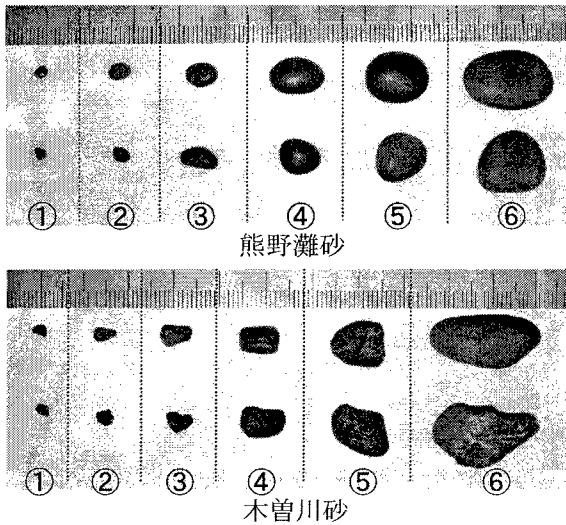


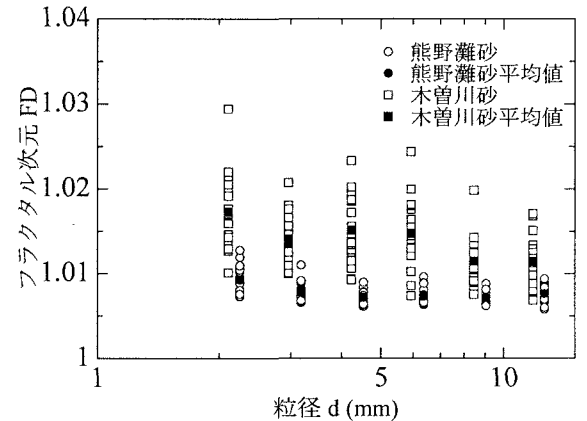
写真-1 解析に用いた代表する粒子

大し、スケールとともに写真撮影を行った。この写真をスキャナーにより読み取り、ビットマップデータとして PC に取り込んだ。最終的な拡大率は、粒径によって異なり、1cm 当たり約 2100 ビット（粒径①）、約 1500 ビット（粒径②）、約 1100 ビット（粒径③）、約 800 ビット（粒径④）、約 550 ビット（粒径⑤）、約 400 ビット（粒径⑥）とした。なお、粒子の大きさに関わらず、各粒子を 400～700 点（4～6 ビット間隔）で近似し外形座標のデータを作成した。この外形座標のデータから、細長比、球形度、フラクタル次元 FD、凹凸係数 FU などを計算した。

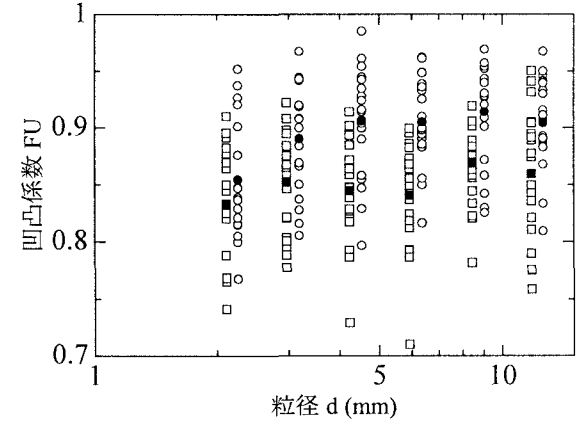
4. 粒子形状と粒径の関係 図-2 ならびに表-1 には、形状パラメータと粒径の関係、形状パラメータの一覧表を示してある。なお、図中には●、■印で各粒径毎の平均値が示してある。これらの図表から以下のことがわかる。フラクタル次元 FD については、熊野灘砂の平均値、ばらつきと比較して、木曽川砂の平均値、ばらつきの両者ともに大きくなっている。このことから、木曽川砂の方が表面凹凸は激しくなかつ種々の粒子形状の粒子から成っていることになる。また、この粒径範囲を全体的に見れば、粒径によって FD はさほど変化していない。しかし、詳細に見ると、粒径 3mm 程度より小さくなると FD の僅かな増加傾向も認められるので、今後さらに細粒子の形状評価が必要となる。一方、凹凸係数 FU については粒径、試料別に関わらず、FD 値と較べると、ばらつきが大きくなっており、両者の材料を区別しにくくなっている。ただし、平均値については明確な差異が現われており、木曽川砂の方が小さな値を取っており、このことは FD での評価結果と一致している。また、FU の平均値と粒径との関係も FD での評価結果と一致している。

5. まとめ 今回、2 種類の粗粒土質材料を用いて粒子形状と粒径の関係を明らかにした。粒子形状の評価において、フラクタル次元 FD と凹凸係数 FU の示す傾向は類似していた。今後、その他の試料の形状解析ならびにより広い粒径範囲についても解析し、検討したい。最後に、本研究のデータ作成には名城大学の杉山秋博講師ならびに、本学 4 年の井上直人、魚住勇治、平野浩二、前野浩孝の協力を得た。記して、謝意を表する。

参考文献 1) 小田匡寛：粒状体の基本的特性とその土質工学意義、土と基礎、Vol.26, No.3, pp.63-70, 1978. 2) 公文富士夫・立石雅昭編：新版砕屑物の研究法（地学双書 29），地学団体研究会. 3) 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. 4) 板橋一雄他：粒子形状の評価方法の整理と 3 種類の粒子の形状評価，平成 12 年度土木学会中部支部研究発表会，pp265-266, 2001. 5) 神谷圭吾他：粗粒土質材料の粒子形状評価と最密充填特性の関係，平成 13 年度土木学会中部支部研究発表会（投稿中），2002.



(a) フラクタル次元と粒径の関係



(b) 凹凸係数と粒径の関係

図-2 形状パラメータと粒径の関係

表-1 形状パラメータの一覧表

(a) フラクタル次元の一覧表						
材料	粒径 (mm)	平均値	標準偏差	変動係数	最大値	最小値
熊野灘砂	2.00～2.36	1.0093	0.00164	0.00162	1.0128	1.0073
	2.80～3.35	1.0078	0.00111	0.00110	1.0110	1.0066
	4.00～4.75	1.0072	0.00070	0.00069	1.0090	1.0061
	5.60～6.70	1.0073	0.00093	0.00093	1.0096	1.0063
	8.00～9.50	1.0072	0.00080	0.00080	1.0089	1.0062
	11.20～13.20	1.0077	0.00097	0.00096	1.0094	1.0058
木曽川砂	2.00～2.36	1.0173	0.00442	0.00434	1.0294	1.0101
	2.80～3.35	1.0134	0.00388	0.00383	1.0208	1.0093
	4.00～4.75	1.0151	0.00387	0.00381	1.0233	1.0093
	5.60～6.70	1.0147	0.00391	0.00385	1.0244	1.0074
	8.00～9.50	1.0115	0.00284	0.00281	1.0198	1.0076
	11.20～13.20	1.0114	0.00274	0.00271	1.0171	1.0069

(b) 凹凸係数の一覧表						
材料	粒径 (mm)	平均値	標準偏差	変動係数	最大値	最小値
熊野灘砂	2.00～2.36	0.855	0.0554	0.0648	0.952	0.768
	2.80～3.35	0.891	0.0469	0.0527	0.967	0.806
	4.00～4.75	0.906	0.0476	0.0526	0.985	0.797
	5.60～6.70	0.905	0.0381	0.0421	0.962	0.817
	8.00～9.50	0.914	0.0446	0.0488	0.969	0.826
	11.20～13.20	0.904	0.0392	0.0433	0.968	0.810
木曽川砂	2.00～2.36	0.833	0.0513	0.0616	0.910	0.741
	2.80～3.35	0.852	0.0431	0.0506	0.922	0.778
	4.00～4.75	0.845	0.0446	0.0528	0.914	0.729
	5.60～6.70	0.841	0.0460	0.0547	0.899	0.710
	8.00～9.50	0.869	0.0353	0.0406	0.919	0.782
	11.20～13.20	0.860	0.0571	0.0665	0.950	0.759