

5 種類の砂の粒子形状に関するクラスター分析

名城大学 理工学部 学生員○荒金 聡 正生員 板橋一雄
学生員 石井亮介 学会員 森下雅則

1. はじめに 粗粒土質材料の成因を知る手掛かりとして、粒子形状が挙げられている。また、砂についても構成する個々の形状は、砂の運搬と堆積の過程を反映して種々の特徴をもっている¹⁾とされ、粒子形状が物理的・力学的特性に大きな影響を与える要因と考えられる。

粒子形状を評価するためによく用いられるものの一つに Krumbein の視覚印象図があるが、それに規則図形による円磨過程モデルを加え、計 99 個の図形を用いて、著者らはクラスター分析を行ってきた²⁾。クラスター分析を行うにあたって、属性には粒子形状指標である円磨度に加え、円磨度と対応の良かった残差一定次数 M_i (外形の計算値と実測値の平均二乗誤差がある一定となる次数)、凹凸係数 FU (粒子の面積と外周長の比)、フラクタル次元 FD (外形を折れ線で近似し粗視度を変える方法)を用いた。円磨度と種々の粒子形状指標の比較、Krumbein の視覚印象図と円磨過程モデルに関するクラスター分析の結果・考察については参考文献 2) を参照されたい。

今回は、生成過程や生成環境が異なる 5 種類の細粒砂がどのように分類されるかを知るため、上述した経緯に基づき、属性に M_i , FU , FD を用いてクラスター分析を試みた。また、砂についても粒子形状が充填構造に影響を及ぼすと考えられるため、学会基準法である漏斗法を実施し、そこから得られた最大間隙率の値とクラスター分析の結果の比較を行ったので、ここに報告する。

2. 粒子形状と最大間隙率 用いた試料は、粒径 0.212~0.250 mm (JIS ふるい一個分)の均一な細粒砂で、学会規定の相馬標準砂、豊浦標準砂、川砂の代表として木曽川砂、オーストラリアの海岸砂としてフラタリー砂、フリマントル砂の 5 種類であり、試料毎に 20 個ずつを用い、計 100 個となっている。図-1 は、それぞれの粒子の外形図形を 2 個ずつ載せてあり、試料毎にクラスター分析に用いた粒子形状指標 M_i , FU , FD の平均値、標準偏差、変動係数の値を載せてある。また、粒径 0.212~0.250 mm の均一粒度を用いて、学会基準法である漏斗法を行うことで得られた最大間隙率の値が載せてある。明確とは言い難いが、粒子形状が最大間隙率の値に影響を与える傾向にある。すなわち、粒子が丸いほど M_i , FD の平均値は小さく、 FU の平均値は大きくなり、5 種類の試料ではフリマントル砂が最も丸く、相馬標準砂が最も凸凹している結果となった。フリマントル砂、フラタリー砂では最大間隙率の値が若干逆転しているが、それに対応するように最大間隙率の値は

小さくなっている。また、フラタリー砂、フリマントル砂は、5 種類の試料の中で、粒子形状指標 3 者すべての変動係数の値が小さかったことから、2 種類の試料は、試料毎に形は似ており、全体的に丸みを帯びている。逆に、残りの試料 3 種類については、粒子形状指標 3 者の変動係数の値が大きかったことから、試料毎で、粒子形状はばらつきが大きく、凸凹している。このことから、充填構造には粒子形状が少なからず影響を与える傾向があり、充填していく上で、粒

粒子の種類		相馬標準砂	木曽川砂	豊浦標準砂	フリマントル砂	フラタリー砂
粒子の 外形図形						
						
最大間隙率		56.24%	55.46%	50.04%	46.43%	46.12%
M_i	平均値	21.17	19.76	17.11	11.43	15.41
	標準偏差	7.73	4.75	4.67	1.93	2.87
	変動係数	0.365	0.240	0.273	0.169	0.186
FU	平均値	0.753	0.773	0.798	0.843	0.817
	標準偏差	0.0503	0.0619	0.0655	0.0431	0.0448
	変動係数	0.0668	0.0801	0.0821	0.0512	0.0548
FD	平均値	1.0302	1.0285	1.0227	1.0171	1.0223
	標準偏差	0.00720	0.00602	0.00739	0.00272	0.00473
	変動係数	0.00700	0.00585	0.00723	0.00267	0.00462

図-1 粒子の外形図形、粒子形状指標と最大間隙率

子が丸いほど粒子と粒子の隙間に粒子が詰まりやすく密に詰まり、最大間隙率の値は小さくなり、粒子が凸凹していると、粒子間で粒子同士の引っかかりがありあまり密にならず、最大間隙率の値は大きくなると考えられる。

3. クラスタ分析とその結果 本研究では多変量解析法の一つであるクラスタ分析を用いた。数多くある多変量解析法の中で対象の分類を主眼とする場合にはクラスタ分析が最も適している。ここでは、クラスタ分析の条件と得られた結果について述べる。

クラスタ分析すべき対象に 5 種類の砂各 20 個を用いて計 100 個、その対象の特徴を示す属性に粒子形状指標 M_i 、FU、FD の 3 種類をとっている。類似係数には非類似度を表すユークリッド距離係数を用いた。今回はクラスタの融合には、平方和の増分が最小になる Ward 法を採用した。

図-2 は 5 種類の細粒砂の樹形図および 5 分類した結果を示している。ただし紙面の都合上、5 分類以上の分類は割愛した。また、樹形図の下の数値は、試料毎の各クラスターに含まれる粒子数を載せてある。この図より、得られた 5 分類に基づく 5 種類の細粒砂すべてにおいて、複数のクラスターにまたがって分類されており、明確な差異は認められなかった。このことは図-1 に示した変動係数の値からも分かるが、試料毎で粒子形状にばらつきがあるためである。その中でも、粒子形状が最も丸みがかっていて、変動係数の小さかったフラタリー砂、フリマントル砂は残りの試料に比べ若干ではあるが少数のクラスターにほとんどの粒子が含まれる形となった。得られた 2 分類に基づく、相馬標準砂は右側のクラスターに 18 粒子、フリマントル砂は左側のクラスターに 17 粒子存在し、両粒子とも片方のクラスターに大半が含まれる形となった。また、図-1 に示してある最大間隙率の値を見ると、相馬標準砂は最も緩く詰まっていた。それに対し、フリマントル砂はフラタリー砂に次いで密に詰まっていた。これらの点から 5 種類の砂のうち緩く詰まった相馬標準砂と、密に詰まったフリマントル砂と比較すると粒子形状の相違が充填構造に影響を与える傾向があると考えられる。

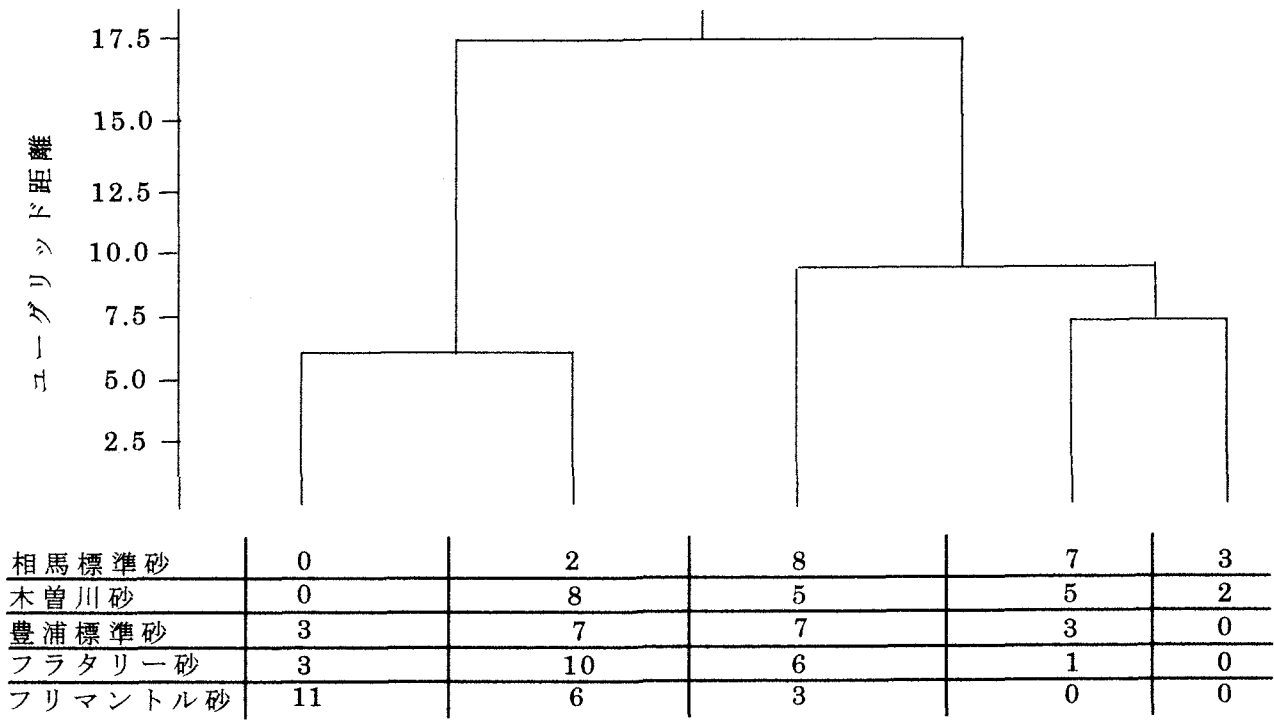


図-2 5種類の砂の樹形図と分類図

4. まとめ 5 種類の細粒砂の粒子形状に関するクラスタ分析を実施した結果、次の結論を得た。得られた 5 分類に基づく、5 種類の細粒砂すべてにおいて複数のクラスターにまたがって分類された。得られた 2 分類に基づく、5 種類の砂のうち、漏斗法で得られた最大間隙率の値が大きかった相馬標準砂と、最大間隙率の値が小さかったフリマントル砂では大まかではあるがクラスターごとで分類され、粒子形状の相違が充填構造に影響を与える傾向があった。

参考文献 1) 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, 1998. 2) 板橋一雄・内藤充則・森 隆・荒金 聡: Krumbein の視覚印象図と円磨過程モデルのクラスタ分析, 平成 14 年度研究発表会, 応用地質学会 2003. 3) H. C. Romesburg 著(西田英郎, 佐藤共訳): 実例クラスタ分析(内田老鶴), 1992.