

粗粒土質材料の粒子形状評価と最密充填特性の関係

名城大学 理工学部 学生員○神谷圭吾 学生員 土屋典子
学生員 姫野 圭 正会員 板橋一雄

1. はじめに 土の物理的・力学的性質に影響を与える基本的性質には、土粒子の材質、粒度組成、粒子形状、吸着イオンの質と量が挙げられている¹⁾。従って、水洗いした均一な粗粒土質材料を考えると、その物理的・力学的性質に影響する因子は土粒子の材質と粒子形状のみとなる。そこで、研究の第一段階として、物理的性質として最密充填特性に着目して、土粒子の形状との関係を調査したので、ここに報告する。

2. 粗粒土質材料の粒子形状評価 粒子形状の評価法には種々の方法があるが、著者らは、円磨度に関する Krumbein の視覚印象図²⁾、角張り度に関する Lees の視覚印象図³⁾、ならびに粗粒土質材料の形状評価を行っており⁴⁾、フラクタル次元や凹凸係数などが粒子形状を適切に表現していることを明らかにしてきた。ここで解析に用いた試料は、熊野灘砂(三重県熊野市の海岸)、木曽川砂(岐阜県笠松町の木曽川の川原)、藤岡まさ土(愛知県藤岡町のまさ土地点の斜面)である。採取した試料をふるい上で水洗いし、JIS 規格ふるいでふるい分け、①2.00～2.36mm ②2.80～3.35mm ③4.00～4.75mm の間の粒子を集めた。各粒子を最も安定する状態で顕微鏡下に置き写真撮影を行い、スキャナーでパソコンに取り込んだ。取り込んだ粒子の代表的な例を、写真-1 に示してあるが、一見しただけで、粒子形状や表面特性の相違がわかる。これらの粒子を大きさに関わらず、一粒子を 300～500 点で近似することを目的とし、外形座標のデータを作成した。なお、データは材料別(熊野灘砂・木曽川砂・藤岡まさ土)、粒径別(3 粒径)のそれぞれ 20 粒子、合計 180 粒子を作成した。この外形座標のデータからフラクタル次元 FD、粒子の中心から表面外形までの距離の変動係数 δ 、細長比 L、凹凸係数 FU、球形度 S の 5 種類の形状パラメータを算出した。表-1 には、算出した形状パラメータの平均値が示してある。

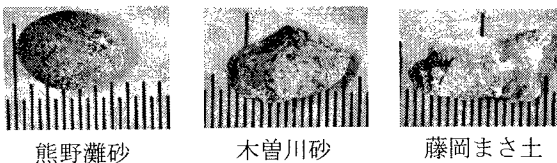


写真-1 代表的な粒子

表-1 3種類の土質材料の形状パラメータ値と充填特性

材料	粒径(mm)	形状パラメータ平均値					回帰式 $n=a+bR_v$			極限間隙率 $n_{\infty}(\%)$
		FD	δ	L	FU	S	a	b	相関係数	
熊野灘砂	2.00～2.36	1.0075	0.124	1.403	0.927	0.852	30.06	3.672	0.888	33.00
	2.80～3.35	1.0088	0.163	1.579	0.891	0.809	29.78	3.296	0.856	32.42
	4.00～4.75	1.0102	0.116	1.336	0.910	0.860	31.46	2.733	0.879	33.65
木曽川砂	2.00～2.36	1.0152	0.130	1.358	0.868	0.858	31.73	4.282	0.945	35.16
	2.80～3.35	1.0156	0.138	1.412	0.859	0.831	30.43	4.984	0.906	34.42
	4.00～4.75	1.0176	0.121	1.312	0.861	0.859	34.74	1.885	0.906	36.25
藤岡まさ土	2.00～2.36	1.0273	0.131	1.361	0.798	0.852	36.23	5.025	0.928	40.25
	2.80～3.35	1.0283	0.133	1.392	0.800	0.839	36.96	3.983	0.958	40.15
	4.00～4.75	1.0261	0.128	1.354	0.813	0.853	36.69	2.939	0.857	39.04

3. 均一粒状体の最密充填挙動とその整理方法 一方、著者らは粒子形状の異なる均一粒状体の充填実験を継続的に行ってきており、間隙率と供試体高さの間に特徴的な関係のあることを示してきた⁵⁾。また、充填挙動を整理する考え方として、容器の大きさ(高さ h、内径 D)を評価できる単一の指標(容器形状係数 $R_v=A/V=2/h+4/D(\text{cm}^{-1})$)を定義し、間隙率 n と R_v の間には平均的な直線関係 ($n=a+b\cdot R_v$) の存在することを明らかにしてきた⁶⁾。さらにまた、容器高さ h が無限大となった場合の容器形状係数の極限值($R_{\infty}=4/D(\text{cm}^{-1})$)と回帰直線の両者から、内径 D の容器への充填特性の代表値となる極限間隙率 n_{∞} の提案を行ってきた⁶⁾。

4. 粒子形状と充填特性の関係 著者らは、3 種類の材料(2 種類の粒径)の最密充填実験と粒子形状解析の結果より、前述した極限間隙率 n_{∞} とフラクタル次元 FD との対応関係を明らかにしてきた⁶⁾。そこで、ここでは、充填実験データ数を増やすとともに、 n_{∞} とその他の粒子形状パラメータ (FD, δ , L, FU, S) との関係を図示し、対応関係のよい粒子形状パラメータを模索することとした。

図-1には、5種類の粒子形状パラメータと極限間隙率との関係を示してある。なお、図中には各充填材料の粒子形状パラメータの全データに対する回帰式が相関係数とともに示してある。粒子のフラクタル次元FDの増加に伴い極限間隙率 n_{∞} は直線的な増加を示している。すなわち、海砂のような丸い粒子は詰まり易く、まさ土のような表面凹凸の激しい粒子は詰まりづらいという、常識的な結果を示している。また、凹凸係数FUについても、同様の結果を示している。しかし、FU

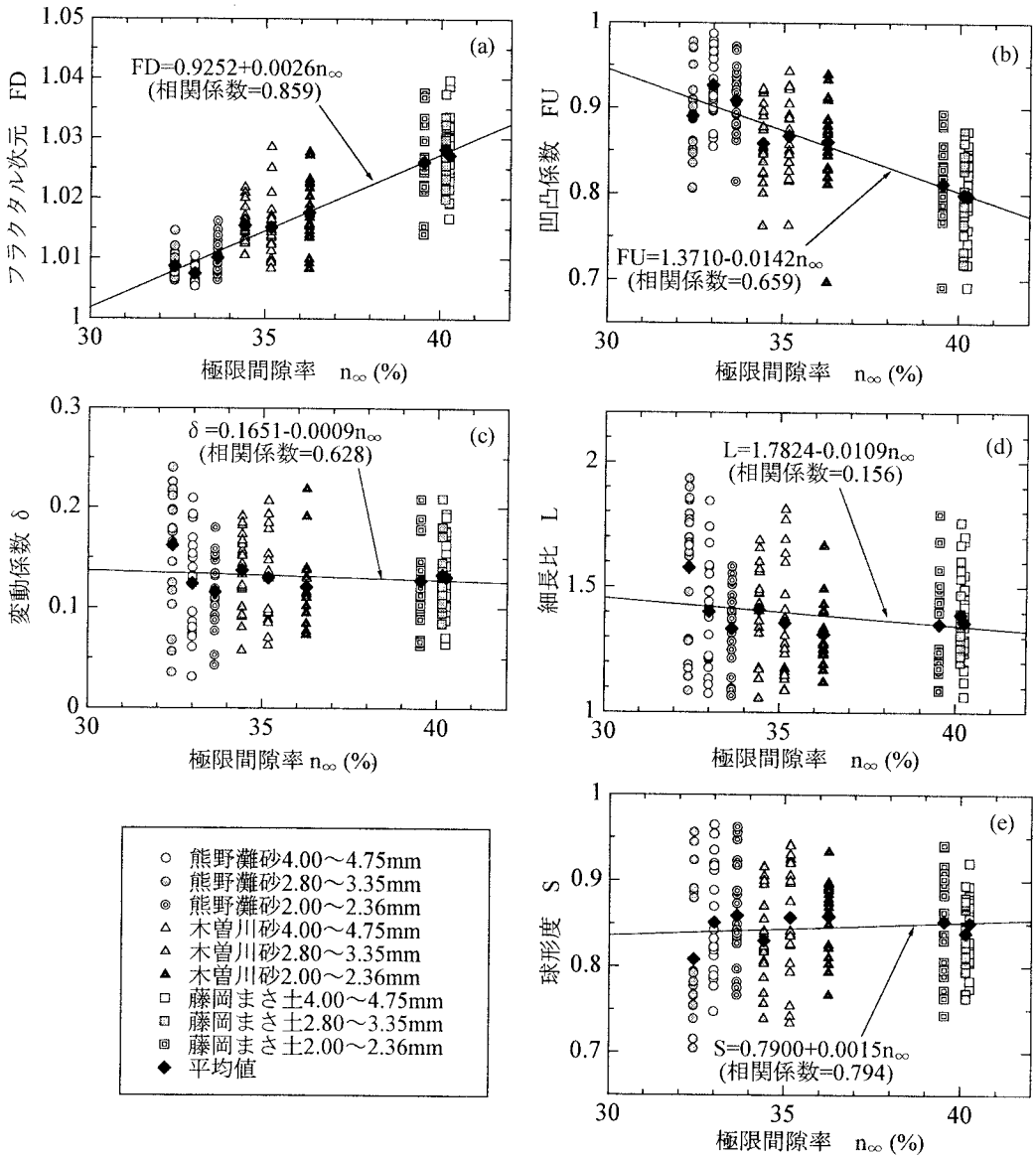


図-1 5種類の形状パラメータと極限間隙率の関係

には多少のばらつきが認められ、相関係数はFDの場合に較べて僅かに低くなっている。一方、変動係数 δ 、細長比L、球形度Sに関しては、データが大きくばらつくとともに、充填材料による値の違いがほとんど見られず、回帰式は横軸にほぼ平行になっている。

5. まとめ 5種類の粒子形状パラメータと極限間隙率の関係より、極限間隙率との対応関係の認められるものはフラクタル次元FDと凹凸係数FUであり、細長比L、球形度Sなどは全くみられないことがわかった。このことは、粗粒材料の充填に対しては、その充填粒子の概略の形状ではなく、表面凹凸も加味した粒子形状によって評価する必要性を示唆している。最後に、実験データ整理に当たっては、本学4年の井上直人、魚住勇治、平野浩二、前野浩孝君の協力を得た、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的意義,土と基礎,Vol.26,No.3,pp.63-70, 1978. 2)神谷圭吾他: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,土木学会第 56 回年次学術講演会, III-A003,pp.6-7,2001. 3)土屋典子他:種々の形状パラメータによる Lees の視覚印象図の形状評価,平成 13 年度土木学会中部支部研究発表会(投稿中). 4)姫野圭他:粗粒土質材料の粒子形状パラメータの比較,土木学会第 56 回年次学術講演会,III-A002,pp.4-5,2001. 5)神谷圭吾他:粒子形状の異なる 4 種類の粒状体の充填実験,平成 12 年度土木学会中部支部研究発表会,pp.243-244,2001. 6)姫野圭他:粒状対の粒子形状と充填特性,第 36 回地盤工学研究発表会,pp.555-556,2001.