

破碎性土の粒子形状について

山口大学大学院 学生員 ○加登文学
山口大学工学部 正会員 中田幸男 兵動正幸 村田秀一

1.まえがき

しらす、スコリアなどの火山性堆積物、カーボネイト、カルカリアス砂や珊瑚礫混じり土などの生物遺骸を起源とする海成堆積物、まさ土などの風化残積土は粒子が脆弱であることが指摘されている。このような材料は通常の設計、施工で対象とする土被りや载荷により発生する応力域において、顕著な粒子破碎を伴い、その結果、様々な力学特性に変化が生じることが知られている¹⁾。また破碎性材料の特徴として、粒子形状の複雑さが指摘されており、粒子形状の複雑さは粒子破碎の起こしやすさと密接な関係があることが調べられている²⁾。そこで、本報ではさまざまな破碎性材料の粒子に対し顕微鏡による観察を行い、粒子形状の評価を行うとともに、間隙比および単粒子破碎強度との関連性について検討した。

2.粒子形状の評価

粒子形状を評価する指標として、真円度 (Roundness coefficient : R_c) および縦横比 (Aspect ratio : Ar) を用いた。真円度の値は次式で表される。

$$R_c = \frac{L^2}{4\pi A} \tag{1}$$

ここに、 L は粒子を上から見た状態での周囲長であり、 A は粒子の断面積である。真円度は吉村、小川³⁾の用いている凹凸係数の逆数に相当するものである。また、縦横比は次式で定義される。

$$Ar = \frac{b}{a} \quad (b \geq a) \tag{2}$$

ここで、 b は投影粒子の相当楕円（投影粒子と同面積かつ一次、及び二次モーメントの等しい楕円）の長軸長さ、 a は短軸長さである。実際には、粒子が最も安定する様におき、上からの投影される像に対して、顕微鏡を用いた画像解析システムを用いて、各々の値を求めている。

縦横比が等しい場合、真円度が最小となる図形は楕円である。楕円の面積を $(\pi \times (a/2) \times (b/2))$ 、周囲長を $(\pi \times \sqrt{(a^2 + b^2)/2})$ とすると真円度と縦横比の関係は次式で表される。

$$R_c = \frac{1 + (Ar)^2}{2(Ar)} \tag{3}$$

また、 $Ar=1$ ($R_c \geq 1$) と式(3)で得られるラインは投影粒子形状の境界線となる。真円度の値は粒子の角張りや扁平さにより変化する値である。そのため真円度の値が等

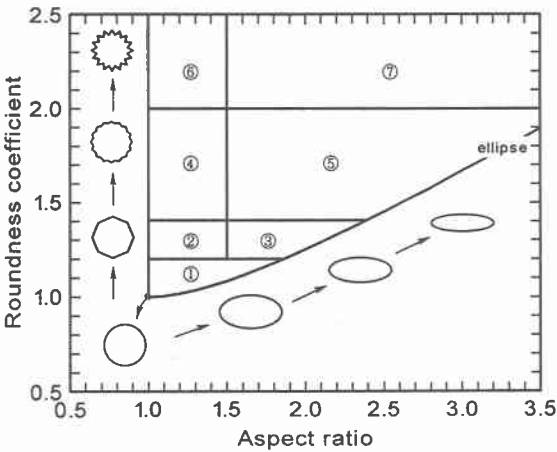


図-1 粒子形状図表

表-1 破碎性材料の粒子形状

Sample	Chiibishi	Quiou	Shirasu	Masado	Toyoura
d(mm)	0.6~0.71	1.0~1.18	0.355~0.425	0.5~0.6	0.18~0.25
(Ar, R_c)	(1.83, 1.50)	(1.51, 1.34)	(1.66, 1.40)	(1.44, 1.25)	(1.45, 1.20)
①	29%	29%	20%	34%	58%
②	8.9%	27%	13%	32%	10%
③	22%	16%	10%	26%	27%
④	1.1%	7.8%	10%	2.3%	1.1%
⑤	20%	20%	47%	6.7%	4.4%
⑥	2.2%	0	0	0	0
⑦	17%	1.1%	0	0	0

しくとも、その形状は全く異なる場合がある。そこで、真円度と縦横比の関係を表すと、その座標により粒子の形状はおおよそ決定される。

表-1 はそれぞれの試料の縦横比、及び真円度の平均値と図-1 に示す領域①～⑦に存在する粒子の割合を示している。①の領域には極めて円に近い粒子から多少の角張りを持つ粒子や弱冠扁平な粒子も含まれる。豊浦砂はこの領域に50%以上の粒子が存在している。破碎性材料についてもこの領域に20～34%の粒子が存在しており、破碎性材料の粒子が全て複雑な形をしているわけではないということがわかる。②の領域は縦横比が小さく、粒子の角張りが中程度の粒子が存在している。また③は粒子の角張りの程度は小さく、短軸が長軸の半分程度の大きさの粒子が存在する領域である。豊浦砂は①に含まれない粒子のほとんどがこれらの領域に含まれている。まさ土は①～③の領域に90%以上の粒子が含まれており、他の破碎性材料よりも粒子形状が複雑ではないことがわかる。④、⑥の領域に存在する粒子は縦横比は1に近く真円度が大きいものであり、真円度の値が同程度である⑤、⑦に存在する粒子よりも複雑な粒子形状をしている。豊浦砂ではこの領域に存在する粒子はほとんど無い。カーボネイト系のチイビシ砂、キュー砂の④、⑥に存在する粒子は写真1(a)に示すように歪な形をしており、粒子の角は尖ってはいなく滑らかである。それに対し、しらすの粒子は写真1(b)に示すように粒子の角が鋭利に尖っている。また、チイビシ砂は⑦に存在する粒子が17%と、他の材料に比べ非常に多いことがわかる。これはサンゴの死骸の枝部分が多く含まれているためである。

3. 間隙比、粒子強度に及ぼす粒子形状の影響

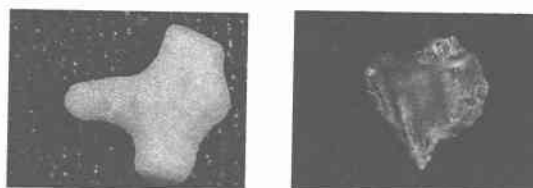
図-2 は最大、最小間隙比と真円度の平均値との関係である。真円度の値が大きい材料ほど間隙比は大きい値となっている。粒子の角張りは粒子の移動を困難にし、そのため粒子形状が複雑なものほど緩い構造ができると考えられる。また、粒子形状の複雑さに起因した大きい間隙比は、破碎性材料が高い圧縮性を示す要因の一つであるといえる。図-3 は粒径1mmの粒子の単粒子破碎強度($\sigma_{f,d=1mm}$)と真円度 R_c との関係である。チイビシ砂は極端に扁平な粒子が多いため強度が高くなっているが、概ね粒子形状が複雑なものほど粒子強度は低くなることわかる。

4. まとめ

破碎性材料の粒子形状を数値的に評価することにより、その特徴がより詳細に把握できた。また、粒子形状の複雑さに起因して破碎性材料の間隙比は高い値となること、単粒子破碎強度は低くなることわかった。

<参考文献>

- 1) 破碎性地盤の工学的諸問題に関する研究委員会：破碎性地盤の工学的諸問題に関する研究委員会報告，地盤工学会，274p.，1999.
- 2) 加登文学，中田幸男，兵動正幸，村田秀一：地盤材料の単粒子破碎特性，土木学会論文集，No.673/Ⅲ-54，pp.189-194，2001.
- 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法，土木学会論文集，No.463/Ⅲ-22，pp.95-103，1993.



(a) チイビシ砂 (④) (b) しらす (④)

写真-1. 粒子の顕微鏡写真

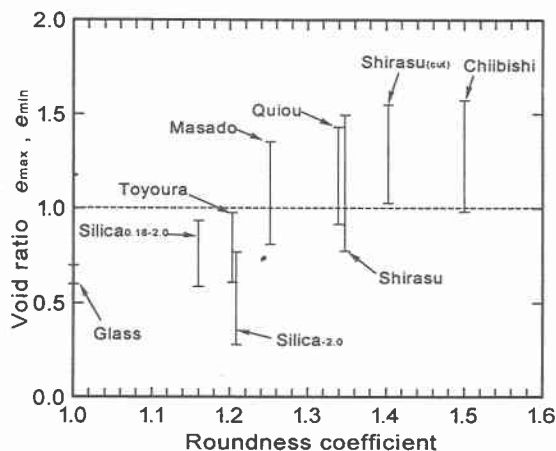


図-2 最大、最小間隙比と真円度との関係

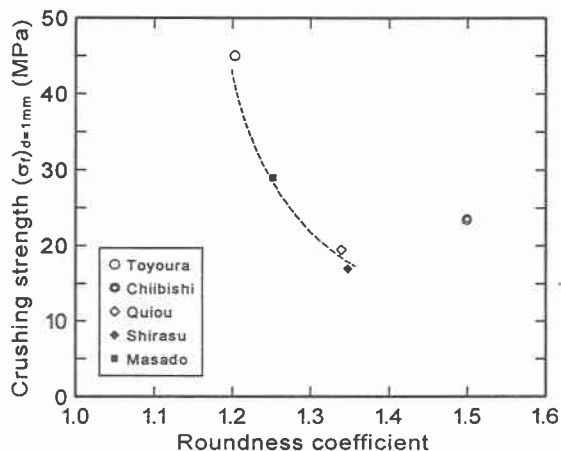


図-3 単粒子破碎強度と真円度との関係