

砂のような粒状材料の単粒子破碎特性

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

1.はじめに

近年、破碎性材料の力学特性や工学的な問題を明らかにすることの重要性が指摘されるようになってきている。そのため、粒子破碎と応力ひずみ挙動との関連性のさらなる検討が必要である。粒子の破碎特性は、砂を構成している粒子の硬さ、形状、大きさ、粒度分布特性や密度に依存すると考えられる。これまで、粒子に作用する応力状態などが異なることから、一つの粒子の破碎と供試体内の粒子破碎は単純に比較できないため、単粒子破碎特性は重要視されていなかった。しかしながら、著者らは Silica 砂を用い単粒子破碎試験を行い、単粒子破碎強度特性と三軸圧縮試験中の粒子破碎¹⁾や一次元圧縮特性とに密接な関連性²⁾を見出しており、破碎性材料の破碎性を表す指標として単粒子破碎強度がきわめて有効となる可能性があるという結果を得ている。本報は、様々な試料に対し単粒子破碎試験を実施し、粒子の破碎形態に着目し、砂の単粒子破碎特性に与える粒子の大きさ、形状、鉱物の影響についての把握を行うものである。

2.用いた試料および単粒子破碎試験方法

用いた試料はガラスビーズ(G.B.)、角張のあるガラス(A.G.)、石炭灰を主原料とした軽量骨材(L.A.)、三河珪砂鉱山で採掘された Silica 砂、山口県秋穂町で採取した天然の海砂である秋穂砂(Aio)、山口県宇部市で採取した宇部まさ土 (Masado)、そして豊浦砂である。また、秋穂砂、宇部まさ土については、主に石英、長石で構成されているため、鉱物別に試験を行っている。単粒子破碎試験は試験装置の上盤を固定し、下盤を載荷速度 0.1mm/min 一定で上昇させ、粒子を破碎させる試験である。

3.結果および考察

図-1 は単粒子破碎試験の荷重と変位の関係である。この図から、小さな荷重の減少を数回繰り返した後、最大の荷重を示し大きな減少を示すことがわかる。これらの荷重の減少が粒子の破碎に関連していることを試験中の観察から確認している。つまり、荷重の減少の繰返しは粒子の角が欠ける様な破碎が何度か起こっていることに対応し、最大の荷重を示した後の減少は完全に破碎したことに対応している。表-1 に各試料における最大値を示すまでの荷重の減少の平均回数 N を示す。この回数は、ある試料の完全な破碎を示す前の角の破碎の回数を意味している。

試験中の観察から粒子の破碎には大きく分けて、図-2 に示す4つのパターンがあることが確認された。

パターン A：荷重が増加しつづけ最大荷重に達すると粉々に粉砕するもの。

パターン B：荷重が増加しつづけ最大荷重に達すると2,3個に割れるもの。

パターン C：荷重の増加に伴い粒子の端が少しずつ崩れ、粒子の芯のようなものが現れ、最大荷重に達すると芯が粉砕するもの。

パターン D：粒子の芯のようなものは現れず、荷重の増加に伴い粒子が少しずつ崩れるような破碎を示すものである。

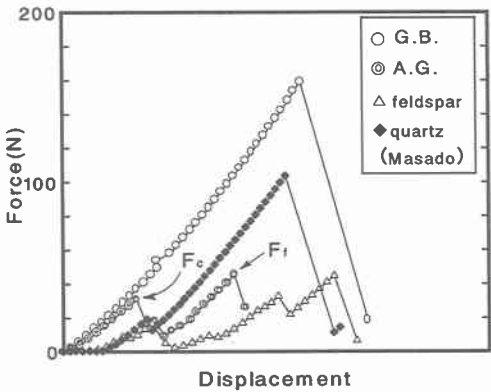


図-1 荷重と変位との関係

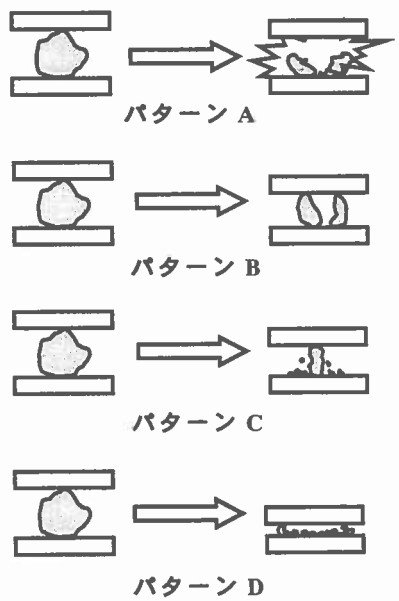


図-2 破碎パターン

表-1 単粒子破碎試験結果

試料	粒径(mm)	試験 個数	N (回)	破碎パターン(%)			
				A	B	C	D
軽量骨材	0.85~1.0	100	9.11	25	11	51	13
ガラスビーズ	0.85~1.0	100	0	100	0	0	0
角張りガラス	0.85~1.0	100	5.54	28.16	32.04	30.10	9.71
宇部 まさ土	長石	1.4~1.7	74	6.55	5.48	8.22	34.25
	石英	1.4~1.7	66	3.55	25.76	19.70	42.42
	混合	1.4~1.7	56	5.74	28.57	3.57	33.93
	全体	1.4~1.7	96	5.30	18.84	10.82	36.94
豊浦砂	0.106~0.25	100	2.26	45	26	19	10
Silica 砂	250	0.25~0.3	100	3.79	32	34	2
	600	0.6~0.72	100	3.94	30	32	2
	1.4	1.4~1.7	100	2.68	40	14	2
	全体	0.25~1.7	540	-	36.11	25.37	34.44
秋穂砂	石英	0.85~2.0	100	6.31	-	-	-
	長石	0.85~2.0	100	5.73	-	-	-
	全体	0.85~2.0	200	6.14	-	-	-

(宇部まさ土の混合は石英、長石の混じっている粒子である)

各試料の破碎パターンの割合を表-1、図-3に示す。これらの結果から、角の無い球形のガラスビーズはパターン A の破碎のみ起こることがわかる。Silica 砂については粒径の違いによらず破碎パターンの割合は、ほぼ等しいという結果となった。豊浦砂、Silica 砂は石英質の砂であるが、これらに比べまさ土に含まれている石英は崩れるような破碎を示すパターン C,D の割合が多いことがわかる。これは、まさ土は風化の影響を受けているため、粒子が脆くなっているためと考えられる。また、まさ土に含まれている長石は石英よりも崩れるような破碎の割合が多いことがわかる。

図-4 は試験中の荷重が減少する回数と破碎パターンとの関係である。この図から、パターン C,D の割合の多い試料は荷重の減少する回数が多いことがわかる。ピーク値を示す前の荷重の減少の回数は粒子の角の数や粒子内のクラックの数と密接な関係があると考えられるため、回数の多い試料ほど粒子の角が多いか、または粒子内のクラックの数が多いと考えられる。逆に、パターン C,D の少ない、つまりパターン A,B の割合の多い試料は荷重の減少する回数が少ないということがわかる。例えば、ガラスビーズの結果についてみると荷重の減少は一度も起きていない。つまり角の破碎や粒子内のクラックに沿った破碎を示さず、完全な破碎のみ起こることを示している。これらのことから、単粒子破碎試験を行うことにより粒子の形状や粒子内の損傷の度合いをある程度推察することが可能であるといえる。

4.まとめ

本研究では、様々な試料に対し単粒子破碎試験を実施し、粒子の破碎パターンに着目した単粒子破碎特性の把握を行った。その結果、破碎のパターンと、粒子の形状、鉱物とは密接な関連性があるという結果が得られた。また、単粒子破碎試験を行うことにより粒子の形状や粒子内の損傷の度合いをある程度推察することが可能であるという結果が得られた。

<参考文献>1) Nakata, Y., Hyde, A. F. L., Hyodo, M. and Murata, H. (1999): "A probabilistic approach to sand particle crushing in the triaxial test," Geotechnique (printing).2)加登、中田、兵動、村田、原田、足立:"砂の統計分布関数から得られる単粒子破碎特性と一次元圧縮特性",第 33 回地盤工学研究発表会講演集,pp.23-24,1998.

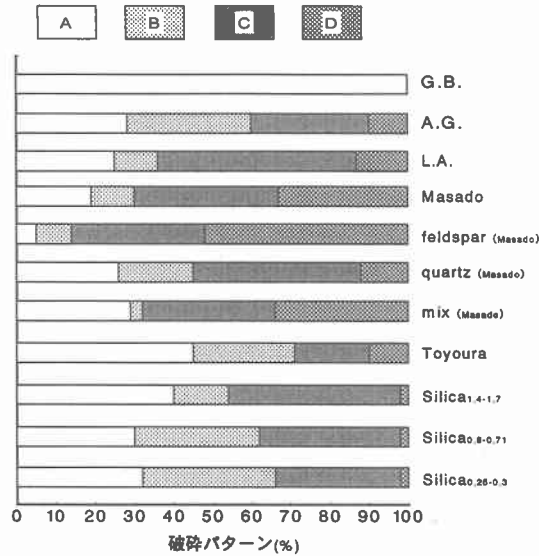


図-3 破碎パターンの割合

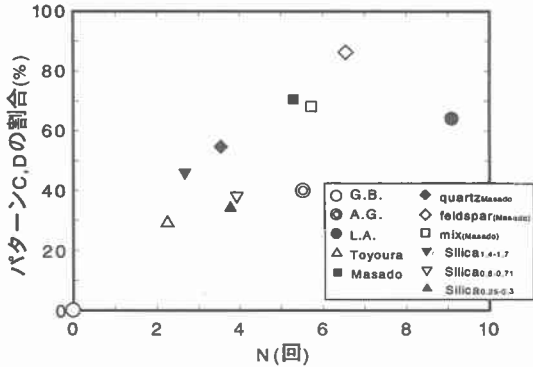


図-4 パターン C,D の割合と荷重減少回数との関係