

粒子破碎による粒子形状変化の二次元計測

筑波大学 学生会員 ○佐久間秋津

筑波大学 正 会 員 松島亘志

1. はじめに

砂粒子のような脆性的な粒状体は高圧圧縮などの条件下で、粒子の破碎や摩耗の作用を受ける。それによって、粒子形状や粒度分布などの粒子物性が変化するため、地盤の力学物性自体も変化する^{1),2)}。このように粒子破碎・摩耗は極めて複雑な力学現象であるが、自然の地盤はそのようなプロセスを経て形成されており、この現象のメカニズムを把握し、普遍的な物理を抽出することは重要である。

そこで本研究は、粒子形状の異なる地盤材料を選定して行った一次元圧縮試験^{3),4)}の結果を利用し、その载荷前のオリジナル試料と载荷後の破碎した試料を粒径ごとにふるいわけする。それらの試料について二次元形状解析を行うことにより、破碎により変化する粒子形状の特徴を定量化するとともに、その一般的な特徴を把握することを目的とする。

2. 試料選定

本研究では、二種類の砂礫材料を用いて試験を実施した。それぞれ、岐阜県の山中で採取された岐阜珪砂3号(以下、山砂、図中ではGifu)と、茨城県鹿嶋市の川沿いで採取された鹿島珪砂3号A(以下、川砂、図中ではKashima)である(図-1,2)。図-3は図-2を二値化したものである。

3. 一次元圧縮試験

この試験は、瀬田³⁾や佐藤⁴⁾らによって実施されたものである。図-4は载荷前後の粒度分布である。载荷前の試料と载荷終了後の粒度の違いについては、どちらの試料とも、破碎によって細かい成分が増えていることがわかる。

4. 粒子形状評価

粒子形状を定量的に評価するため、吉村ら⁵⁾によって提案された凹凸係数FUを導入した。FUは、粒子内に直交する三軸を考え、その長軸と中間軸を含む平面に粒子を投影した断面から考える。投影断面の面積をAとし、外周長をlとしたとき、(1)式で表される。FUは0~1.0の値をとり、凹凸の度合いが大き



図-1 川砂



図-2 山砂



図-3 二値化

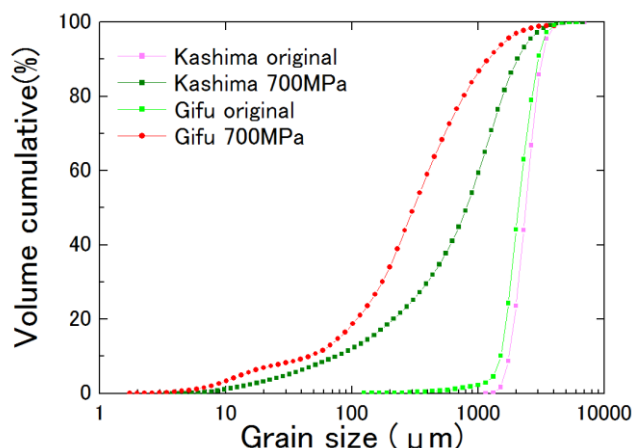


図-4 粒径加積曲線

くなるほどFUは小さくなる。また、投影断面を楕円近似し、そのときの楕円の長軸bと短軸cを求め、アスペクト比ARを定義した。ARは(2)式で表される。ARは、0~1.0の値をとり、円に近づくほど大きくなる。

$$FU = \frac{4\pi A}{l^2} \quad (1)$$

$$AR = \frac{b}{a} \quad (2)$$

5. 解析結果

撮影した粒子を二値化し、形状解析を行った。粒子の解析個数は50個以上とし、それぞれのFUとARについて頻度分布を算出した(図5~図8)。また、表-1,2にそれぞれの中央値を記載した。破碎前の川砂と山砂を比較すると、ARは同程度の値を取っているが、FUは大きく異なっていることがわかる。このことから山砂と川砂は同程度のARで自然に堆積しているが、川砂は粒子表面の凹凸が河川の運搬によって削られており、その違いをFUの値で評価できることがわかる。川砂の破碎前後のFUについて比較すると、丸い粒子は破碎後に尖った破断

キーワード 粒子破碎, 粒子形状, 凹凸係数, アスペクト比, 一次元圧縮試験

連絡先 〒305-8577 茨城県つくば市天王台 1-1-1 筑波大学 E-mail: akitsu1214@gmail.com

面が現れることにより FU が小さくなっていると考えられる。また、破碎前から凹凸が多くみられる山砂が破碎すると、FU の値が上昇していることがわかる。これは、粒子の凹凸が多い場合、弱点である凹凸部分から破碎していき、FU が上昇すると解釈できる。AR については、破碎によって値が変化していることが見て取れるが、特に 0.212-0.5mm の粒子については、どちらも元の AR から大きく低下していることがわかる。これについては、粒子が破碎した際に大きく割れた粒子の他に、小さな破片粒子を生成しており、その粒子が尖った棒状の形をしていることが考えられる。

6. まとめ

本研究は粒子形状の異なる地盤材料を用いて一次元圧縮試験前後の粒子形状を測定した。その結果、破碎によって FU および AR の頻度分布が推移していく傾向が見られ、その傾向に対して、ある程度妥当な解釈を与えることができた。

表-1 川砂の解析結果（中央値）

Kashima	解析個数	FU	AR
original	93	0.81	0.74
1.18mm-	119	0.79	0.77
0.5-1.18mm	51	0.61	0.73
0.212-0.5mm	50	0.58	0.64

表-2 山砂の解析結果（中央値）

G3	解析個数	FU	AR
original	54	0.53	0.75
1.18mm-	51	0.64	0.82
0.5-1.18mm	50	0.70	0.69
0.212-0.5mm	55	0.55	0.67

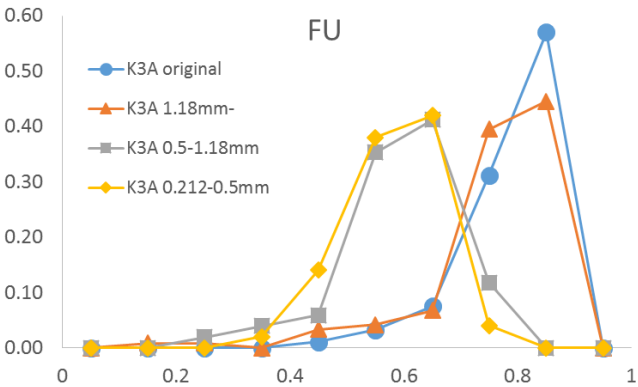


図-5 川砂の FU 分布

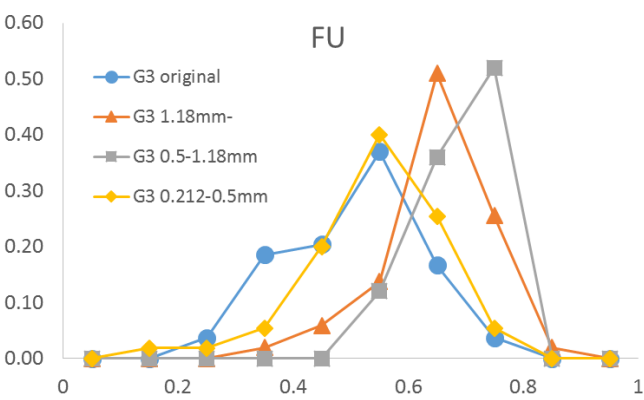


図-6 山砂の FU 分布

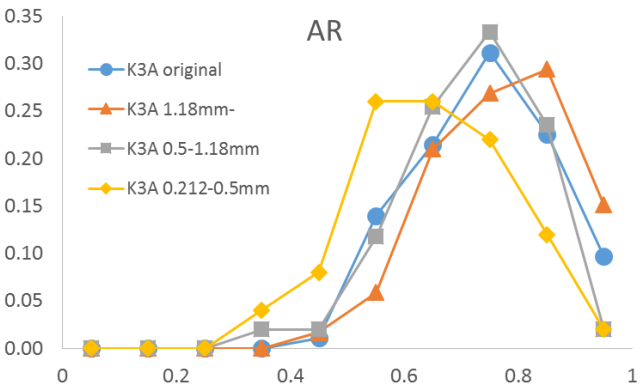


図-7 川砂の AR 分布

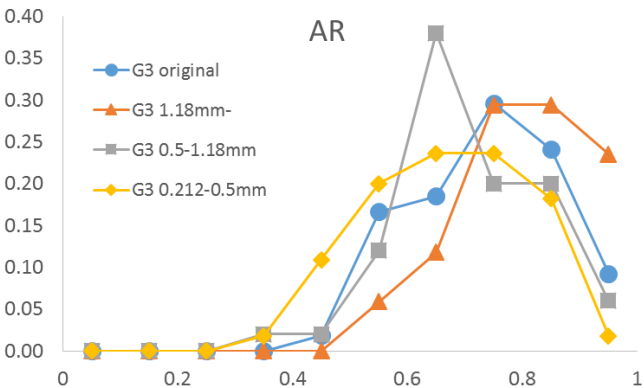


図-8 山砂の AR 分布

参考文献

1) Lockner, D., Byerlee, J. D., Kuksenko, V., Ponomarev, A., & Sidorin, A. (1991). Quasi-static fault growth and shear fracture energy in granite. Nature, 350(6313), 39-42.

2) Kitajima, H., Chester, J. S., Chester, F. M., & Shimamoto, T. (2010). High - speed friction of disaggregated ultracataclasite in rotary shear: Characterization of frictional heating, mechanical behavior, and microstructure evolution. Journal of Geophysical

3) 瀬田充:粒子破碎による粒状体の塑性圧縮挙動, 筑波大学修士論文, 2014.

4) 佐藤完, 北島弘子, 高橋美紀, 松島亘志. (2017). 回転せん断試験による砂礫粒子の破碎特性評価. 土木学会論文集 A2 (応用力学), 73(2), I_517-I_526.

5) 吉村優治ら, 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Ⅲ463, pp.95-103, 1993.