砂の形状が定常状態特性に及ぼす影響

首都大学東京 学生会員 〇汪 清夢 首都大学東京 正会員 吉嶺 充俊

1. はじめに

砂の定常状態特性は粒度のほかにも砂粒子の形状や表面特性によって異なると考えられる。そこで本研究で は、合計9種類の試料を用いて三軸圧縮せん断試験を行い、定常状態特性を比較した。そして粒子の顕微鏡投 影断面画像をもとに、粒子形状を凹凸係数定量化し、凹凸係数が定常状態特性に及ぼす影響を調べた。

2. 試料と試験方法

本研究では六種類の砂(豊浦砂、飯豊砂 6 号 7 号、岐阜砂 6 号 7 号、オタワ砂)、ガラスビーズ(以下 G100 と 省略する)、ガラスビーズと豊浦砂の 1:1 で混合した試料(G50)、およびガラスビーズと豊浦砂 3:7 で混合した 試料(G30)、合計 9 種類の試料を用いた。各試料の土粒子密度ps、最大間隙比 emax、間隙比 emin を表-1 に示し た。粒度分布が試験結果への影響を打ち消すため、平均粒径により 9 種類の試料を二組に分け比較する。すな わち、平均粒径およそ 330µm の飯豊砂 6#、岐阜砂 6#とオタワ砂を一組とし、平均粒径およそ 220µm の豊浦砂、 飯豊砂 7#、岐阜砂 7#、ガラスビーズ、G30 と G50 を一組にする。

供試体の変形の均一性の観点からは非排水せん断試験が好ましいが、ガラスビーズについては非常に緩く堆 積させたものでも膨張傾向が大きく、非排水条件で定常状態に至らせることが困難であったので、G100 につ いては排水せん断試験を行った。その他の試料に対しては、非排水三軸圧縮せん断を行った。

試料を堆積させる際に、非常にゆるい供試体の作製には微湿潤堆積法^[1]、密な供試体に空中落下法を用いた。

3. 粒子形状の評価

本研究では2次元画像から砂の形状を評価した。まず、粒子を重ならないように均等に分散してガラス板の 上に配置し、光学顕微鏡によって2次元の写真を撮影する。今回の検証で使われた投影写真はデジタルマイク ロスコープ(キーエンス VHX-2000)で撮影した解像度 1600×1200 のものである。そして、画像から重なる粒 子や画像に入りきれない粒子を手動で取り除いた後、自作のアプリケーション^[2]を使って自動解析を行い、凹 凸係数 *FU*^[3]、アスペクト比 S、真円度 R、p^[4]を算出する。本研究では、凹凸係数 *FU* と定常状態特性の関係 のみ検討する。

4. 三軸せん断試験結果

図-1は9種類の粒子それぞれの定常状態線(定常状態における間隙比 e と平均有効主応力 p'の相関)をプロットして比較したものである。このグラフから見ると、形状が丸みを持っていて FU が大きい粒子ほど同じ 間隙比で比較したときの定常状態強度は小さくなることがわかる。

5. 定常状態特性と凹凸係数 FU の関係

粒子破砕による粒子の形状変化の影響を取り除き、本研究では図-2のように定常状態線の高圧部分を配慮 し、低圧部(有効平均主応力が1500kpa以下)をメインに注目した。定常状態特性と粒子形状の関係をより 明確に比較するために、実験結果を線形近似で定常状態線低圧部の傾き(λ)と切片(e₀)を求めた。結果は表-1 に表示する。これらの定常状態特性パラメータを粒子形状を表す凹凸係数 FU に対してプロットしたものが 図-3 である。これによれば、FU が大きいほど e₀ が大きくなり、λ は小さくなることがわかる。

6. まとめ

粒度分布はそれぞれほぼ一致しているが粒子形状の異なる2組合計9種類の粒状体を使って三軸圧縮せん
 キーワード 砂,粒子形状,定常状態
 連絡先 〒192-0397 東京都八王子市南大沢1-1 TEL0426-77-2773

断試験を行い、それらの定常状態特性を比較した。試料の粒子形状の評価に関しては、凹凸係数 (FU)を用いた。また、定常状態特性の評価に関しては、低圧部の傾き(λ)と切片(e₀)を用いた。その結果、平均粒径が異なるにもかかわらず、粒子が丸いものほど定常状態線が下方に位置する、傾きが小さくなることがわかった。

ガラスビーズやガラスビーズを混ぜた砂は天然砂とやや異なる結果を得られた。それは材質による粒子密 度による違いや、本研究では解析対象外とした表面粗相度による影響と考える。

参考文献

[1] 非常に緩く均質な砂の供試体作成,小丸裕介,吉嶺充俊,菊池喜昭,水谷崇亮,第7回地盤工学会関東支部 発表会(Geo-Kanto2010),pp.24-27,2010 [2] 砂のような粒状体の粒子形状の簡易な定量化法,吉村優治, 小川正二,土木学会論文集 1993(463),95-103,1993 [3] 2次元画像を用いた砂粒子形状の簡易で定量 的な測定方法,汪清夢,吉嶺充俊,第15回地盤工学会関東支部発表会(Geo-Kanto2010),pp.357-358,2018.
[4] Particle Shape Effects on Packing Density, Stiffness, and Strength: Natural and Crushed Sand, Gye-Chun Cho, Jake Dodds, and J. Carlos Santamarina, Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering 2006, 132(5):591-602

|--|

	ρ_{s}	D ₅₀ (µm)	e _{max}	e _{min}	FU	S	R	ρ	λ(MPa ⁻	e ₀
豊浦砂	2.650	215	0.989	0.61	0.837	0.748	0.401	0.575	-0.07	0.920
飯豊砂	2.629	210	0.929	0.566	0.835	0.718	0.405	0.561	-0.09	0.860
岐阜砂	2.589	212	1.211	0.794	0.771	0.707	0.329	0.518	-0.26	1.160
G100	2.477	215	0.701	0.577	0.998	0.999	1.000	1.000	0	0.730
G50	2.564	215	0.814	0.641	0.918	0.873	0.701	0.787	0	0.810
G30	2.598	215	0.875	0.647	0.885	0.823	0.581	0.702	0	0.860
飯豊砂	2.637	300	0.851	0.529	0.857	0.742	0.450	0.596	-0.09	0.820
岐阜砂	2.590	320	1.145	0.745	0.773	0.728	0.323	0.526	-0.26	1.120
オタワ	2.645	350	0.785	0.542	0.890	0.766	0.538	0.652	-0.06	0.750



0.8

0.7

0.75

図-3

0.80

0.85 0.90 FU

(a)FU と e₀の関係



(b)FU とλの関係

. .

0.95