

第Ⅲ部門

鳴き砂の土粒子形状と非排水単純せん断特性について

舞鶴工業高等専門学校専攻科 建設・生産システム工学専攻 学生員 ○中西 貴紀
舞鶴工業高等専門学校 建設システム工学科 正会員 加登 文学 森尾 敏

1. はじめに

砂の土粒子形状はせん断強度と密接な関係があることが知られている。これまで土粒子形状と一面せん断強度との関係¹⁾や三軸試験から得られる排水せん断特性との関係²⁾などについての研究が行われているが、非排水状態の単純せん断特性との関連性についてはあまり検討されていない。一方、土粒子にぎざのある砂はぎざの無い砂に比べて液状化に対する抵抗が強いという報告³⁾もある。そこで、本研究では地震時の地盤状態に近い非排水単純せん断状態における、砂のせん断特性に対する土粒子形状の影響について検討する。土粒子形状に特徴のある鳴き砂を用いて行った非排水単調単純せん断試験結果に対して考察を行う。

2. 土粒子形状の評価

本研究では、京丹後市の琴引き浜で採取した鳴き砂と、珪岩を人工的に粉砕して製造された珪砂を用いる。写真1の鳴き砂は岩石がマグマから冷却するときに結晶化した高温石英、カリ長石が多く、少量の堆積岩片、斜長石も含まれている。写真2の珪砂は少量の雲母や有色鉱物も含まれているが石英質中心である。

鳴き砂は表面が非常に滑らかで角張っていない。粒子1つ1つがきれいな形をしており比較的丸い形状のことが多い。一方、珪砂には粒子表面に鋭い角がいくつか見られ、鳴き砂のように滑らかではない。



写真1 鳴き砂
(Nakizuna)



写真2 珪砂
(Silica)

表1 試料の物理的性質

Sample	d (mm)	d_{50} (mm)	ρ_s (g/cm ³)	e_{max}	e_{min}	R_c
鳴き砂	0.25-0.425	0.336	2.654	0.863	0.555	1.297
珪砂	0.25-0.425	0.336	2.652	1.149	0.744	1.414

表1に各試料の物理的性質を示す。ここで表中の R_c ⁴⁾は土粒子形状を定量的に評価する指標であり、次式で定義される。 R_c は真円を1とし、粒子が角張っているほど大きくなる。表中の値は土粒子50個に対して行った観察結果の平均値である。

$$R_c = \frac{L^2}{4\pi A} \quad (1)$$

A : 土粒子断面積 L : 外周長

図1に各試料が取り得る間隙比の範囲($e_{max} \sim e_{min}$)と R_c との関係を示す。 R_c の値が大きい材料ほど間隙比の取り得る範囲が大きい値を示しているのが特徴である。図より、珪砂に比べて鳴き砂は R_c も間隙比の幅も小さいことから粒子形状が丸い試料であることがわかる。

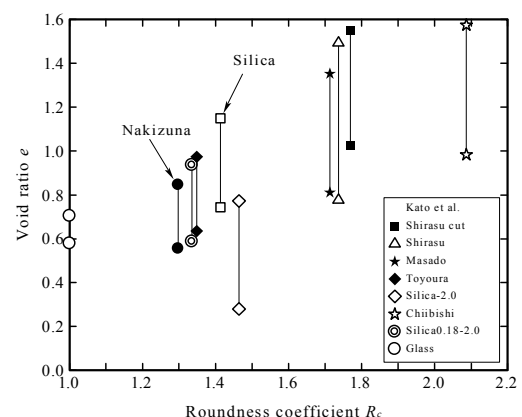


図1 間隙比の幅と R_c との関係 (文献4)に加筆

3. 非排水単調単純せん断特性

本研究で使用した簡易単純せん断試験機⁵⁾は側方向応力と軸方向の等方圧成分の拘束圧を真空ポンプによる負圧で作用できるため、供試体に対して側方

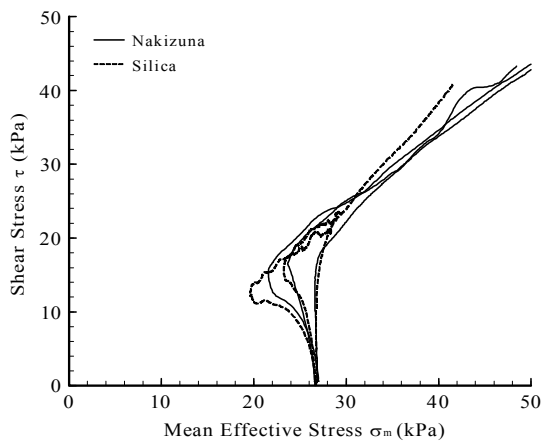


図2 有効応力経路

向応力の制御が可能である。また圧密によって地盤内の拘束圧を再現し非排水の状態直接的にせん断応力が制御できる。

鳴き砂と珪砂に対して、側圧 $\sigma_h' = 20$ (kPa), $\sigma_h'/\sigma_v' = 0.5$ の条件で圧密を行った後、非排水単調せん断を行った。また、相対密度は鳴き砂、珪砂ともに密詰め、中詰め、ゆる詰めで行った。

単調単純せん断試験結果を図2 有効応力経路、図3 せん断応力-せん断ひずみ関係、図4 有効応力-せん断ひずみ関係としてそれぞれ示す。図中の実線が鳴き砂、破線が珪砂の結果である。

図2より、いずれの試料とも、密詰めは有効応力の減少がみられず、相対密度のゆるいものほど有効応力が大きく減少している。そしてその度合いは試料による差はあまりない。また、試料、相対密度によらず、最終的には有効応力経路はある一定の勾配の直線に収束していることがわかる。

次に、図3をみると、両試料ともいずれの相対密度の結果もせん断ひずみが1%弱で応力ひずみ曲線が折れ曲がっており、その後のせん断応力の増加割合は相対密度が高いものほど大きい結果となっている。そして、珪砂に比べて鳴き砂の方が折れ曲がり後の勾配が大きいことがみてとれる。

図4より、珪砂に比べて鳴き砂はせん断ひずみが小さい段階で有効応力の変化が減少から増加に転じている、つまり変相点までに生じるせん断ひずみが少ないということがわかる。そのため、有効応力が早い段階で回復して、その結果せん断応力も増加するといえる。この要因は鳴き砂の土粒子形状が珪砂に比べて丸く、間隙比が小さいためと考えられる。

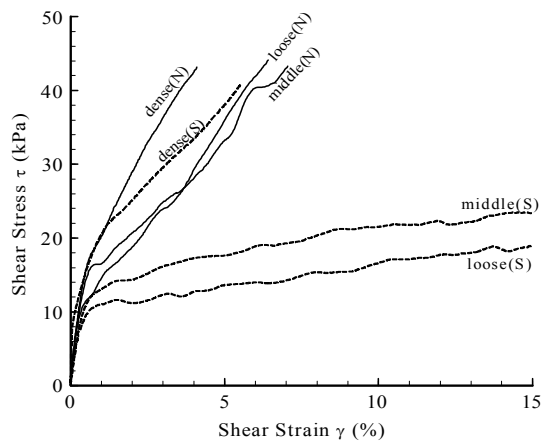


図3 せん断応力-せん断ひずみ関係

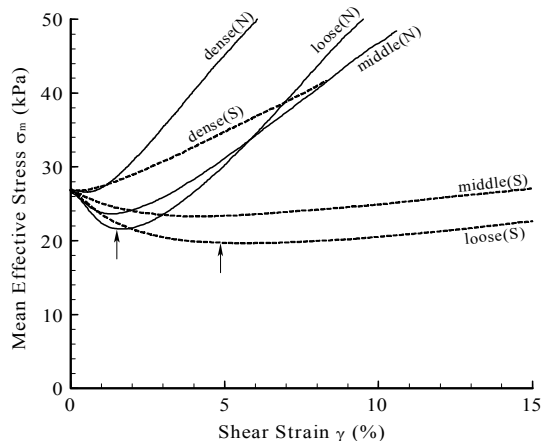


図4 有効応力-せん断ひずみ関係

つまり、たとえゆる詰めであっても余裕間隙比が小さいため、少ないせん断ひずみで変相点に至ったといえる。

4. まとめ

鳴き砂と珪砂を用いた実験結果から、非排水単純せん断特性に及ぼす土粒子形状の影響について検討した。その結果、鳴き砂は珪砂に比べて土粒子形状が丸いため間隙比が小さいこと、そして、それに起因して少ないせん断ひずみで変相点に至ることなどがわかった。

参考文献

- 1) 吉村・松岡: 粒子形状による粒状体の内部摩擦角の推定法, 土と基礎, Vol.50, No.5, pp20-22, 2002.
- 2) 加登ら: 土粒子の形状および強度に基づく密詰め砂の排水せん断強度の拘束圧依存性, 第37回地盤工学研究発表会概要集, pp.431-432, 2002.
- 3) 日下部・森尾: 粒子表面形状が異なる砂の地震応答液状化抵抗, 土木学会論文集, No.517/III-31, pp.149-158, 1995.
- 4) 加登ら: 破砕性材料の粒子特性と一次元圧縮特性, 土木学会論文集, No.701/III-58, pp.343-355, 2002.
- 5) 日下部ら: 簡易単純せん断試験装置の試作と種々の液状化試験への適用, 土木学会論文集, No.612/III-46, pp.299-304, 1999.