

## 粒子形状に着目した鳴き砂の非排水単純せん断特性

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  
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

### 1. はじめに

砂の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。これまで粒子形状と一面せん断試験から得られる内部摩擦角との関係<sup>1)</sup>や、三軸試験から得られる排水せん断特性との関係<sup>2)</sup>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<sup>3)</sup>もある。そこで、本研究では地震時の成層地盤の応力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粒子形状の影響について検討する。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. 砂の粒子形状の評価

本研究では、京丹後市で採取した鳴き砂（写真1）と、珪岩を人工的に粉砕して製造された珪砂（写真2）を用いた。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。珪砂は少量の雲母や有色鉱物も含まれているが主に石英質の粒子で構成されている。

写真より、鳴き砂は表面が非常に滑らかで、土粒子一つ一つがきれいな形をしており、比較的丸い形状のものが多く。一方、珪砂は粒子表面に鋭い角がいくつも見られ、鳴き砂のように滑らかではない。

表1に両試料の物理的性質を示す。ここで表中の $R_c$ <sup>4)</sup>は土粒子の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。

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

ここで、 $A$ は観察された粒子の2次元写像の断面積、 $L$ は外周長である。

図1はさまざまな地盤材料の最大・最小間隙比の範囲（ $e_{max} \sim e_{min}$ ）と $R_c$ との関係である。 $R_c$ 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。



写真1 鳴き砂  
(Nakizuna)

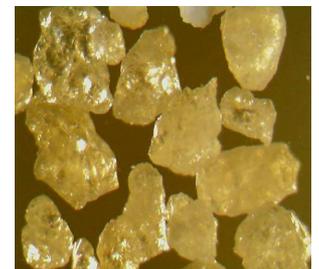


写真2 珪砂  
(Silica)

表1 試料の物理的性質

Sample	$d$ (mm)	$d_{50}$ (mm)	$\rho_s$ (g/cm <sup>3</sup> )	$e_{max}$	$e_{min}$	$R_c$
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

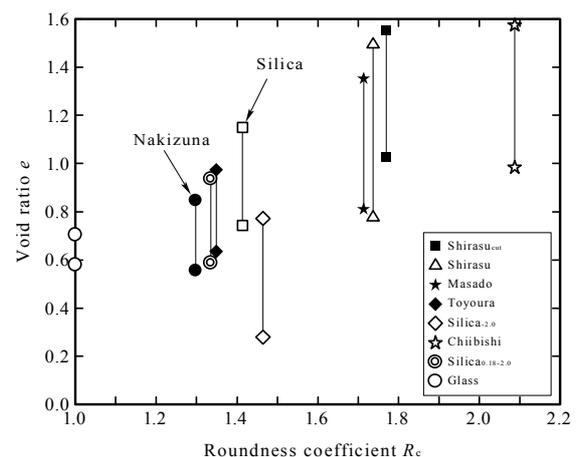


図1 間隙比の幅と $R_c$ との関係

キーワード 砂, 粒子形状, 単純せん断, 非排水

連絡先 625-8511 京都府舞鶴市字白屋 234 舞鶴工業高等専門学校 建設システム工学科 加登文学 kato@maizuru-ct.ac.jp

### 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<sup>5)</sup>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向応力の制御が可能である。さらに圧密によって地盤内の拘束圧を再現し非排水の状態ですべて直接的にせん断応力が制御できる。

鳴き砂と珪砂の密詰め、中詰め、ゆる詰め供試体に対して、側圧 $\sigma_h=20$  (kPa),  $\sigma_h/\sigma_v=0.5$  の条件で圧密を行った後、非排水単調単純せん断を行った。

単調単純せん断試験結果を図2~4に示す。各図中の実線が鳴き砂、破線が珪砂の結果である。図2の有効応力経路より、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。そしてその割合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のせん断応力-せん断ひずみ関係をみると、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はせん断ひずみに対する過剰間隙水圧比の挙動である。珪砂に比べて鳴き砂はせん断ひずみが小さい段階で過剰間隙水圧比の変化が増加から減少に転じている。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。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、非排水単調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、粒子形状の丸い鳴き砂は珪砂に比べて少ないせん断ひずみで変相点に至るため、有効応力が回復しやすく、高いせん断応力を発揮することがわかった。

#### 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: 破碎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.

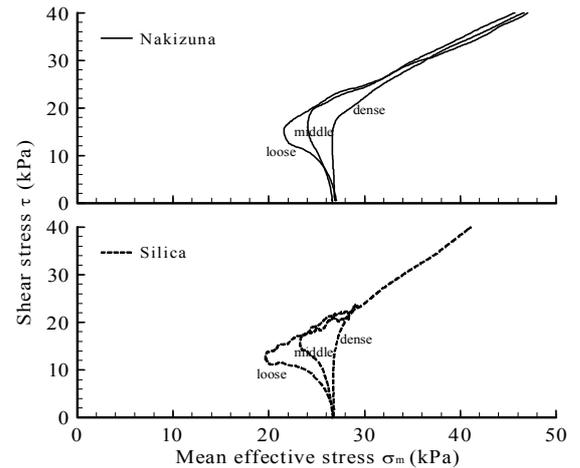


図2 有効応力経路

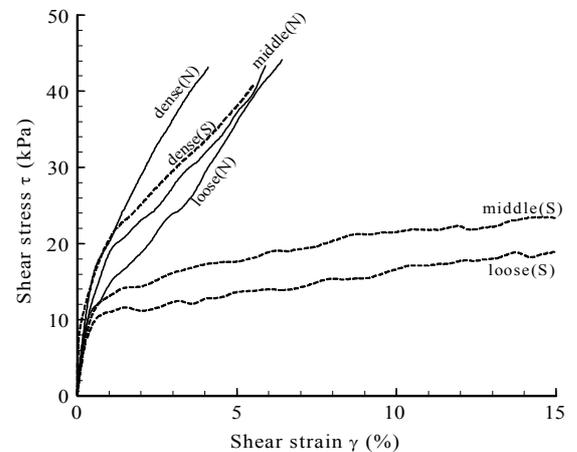


図3 せん断応力-せん断ひずみ関係

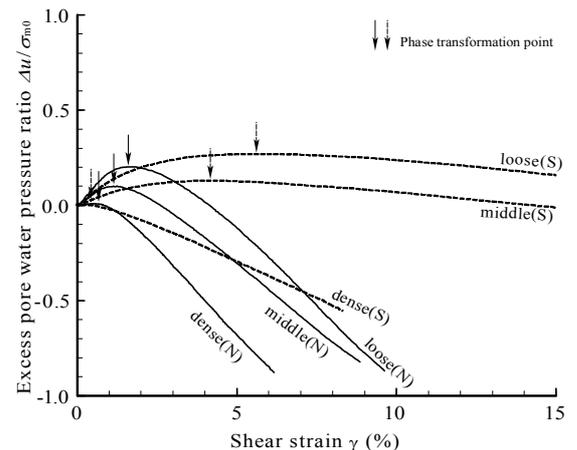


図4 過剰間隙水圧比-せん断ひずみ関係