

種々の粒子形状を有する砂の非排水単調せん断特性

山口大学大学院 学生会員 ○水木崇文
 山口大学工学部 正会員 兵動正幸 村田秀一
 中田幸男 吉本憲正
 山口大学大学院 学生会員 長井健作

1. はじめに

これまで液状化の研究は、海浜や河口付近で堆積する粒子表面が比較的堅固でなめらかな丸みを帯びた砂を対象としてきた。しかし1995年の兵庫県南部地震や1997年の鹿児島北西部地震では、風化残積土のまさ土あるいは火山灰であるしらす地盤が液状化した。これらは、破碎性土と呼ばれる土であり、圧縮性に富んでいる。また、破碎性土は一般に粒子形状が角張っているといわれている。そこで本研究では、粒子の形状に着目し、非排水単調せん断特性に及ぼす粒子形状の影響を調べることを目的とした。

2. 試料および試験方法

本研究では、鹿児島県始良郡で採取したしらすから0.075mm以下の細粒分を除去した試料、山口県秋穂町の海岸で採取した粒子表面が滑らかなシリカ系の秋穂砂、阪神大震災により液状化の被害をうけたポートアイランドより採取した風化花崗岩であるP.I.まさ土の3種類の砂を用いて実験を行った。供試体は、空中落下漏斗法により所定の相対密度となるように作製した。その後、通水し飽和供試体とし、所定の拘束圧で圧密した後、非排水条件で単調三軸試験を行った。表-1に、用いた試料の物理的性質をそれぞれ示した。図-1に実験に用いたそれぞれの試料の粒径加積曲線を示す。

表-1

	ρ_s (g/cm ³)	e_{max}	e_{min}	D_{50}	U_c	R_c	Ar
しらす	2.307	1.551	1.027	0.38	3.38	1.402	1.657
秋穂砂	2.633	0.958	0.582	0.40	2.74	1.274	1.557
P.I. まさ土	2.624	0.967	0.491	0.60	7.00	1.248	1.412

3. 粒子形状の評価方法

本研究で用いた粒子形状を評価するための方法を示す。粒子形状の複雑さを定量的に評価するために、それぞれの試料に対して顕微鏡による観察を行った。観察は、平らな面に最も安定する状態で粒子を置き、顕微鏡を用いた画像解析システムにより、上から投影される像に対して行った。撮影された画像の画素は640×480ピクセルである。対象とした粒子はそれぞれの試料の平均粒径の粒子であり、標本個数を50個として計測を行った。ここで、粒子形状を定量的に評価するために真円度 R_c を導入する。 R_c は吉村、小川¹⁾の用いてる凸凹係数の逆数に相当するものであり、次式で表わされる。

$$R_c = L^2 / 4\pi A \cdots \cdots (1)$$

ここで、 L は投影粒子の周囲長であり、 A は投影粒子の断面積である。真円度は、1に近いほどその形状は円に近づき、大きくなるほど形状が角張っている。

4. 非排水単調せん断試験結果

図-2(a),(b),(c)に初期相対密度 $D_{ri}=50\%$ における各試料の軸差応力-軸ひずみ関係を示す。図中の黒丸プロットは変相点の位置を示したものである。(a)のしらすは、いずれの拘束圧下においても、ひずみ硬化傾向を示し、定常状態に至っている。伸張側においては、変相点以降軸差応力が増加し、拘束圧が増加するに伴い、さらに大きくなった。(b)の秋穂砂において拘束圧 $\sigma'_c=3.0\text{MPa}$ までは、ひずみ硬化傾向を示しているのに対し、 $\sigma'_c=5.0\text{MPa}$ では、変相点前でひずみ軟化傾向を示し、それ以降はひずみ硬化挙動に転じている。伸張側においては、 $\sigma'_c=0.3\text{MPa}$ では変相点以降、軸差応力がわずかに上昇するが、 $\sigma'_c=3.0, 5.0\text{MPa}$ では軟化一方の様子が伺える。(c)のP.I. まさ土は、圧縮側において変相点までにひずみ硬化傾向を示した。

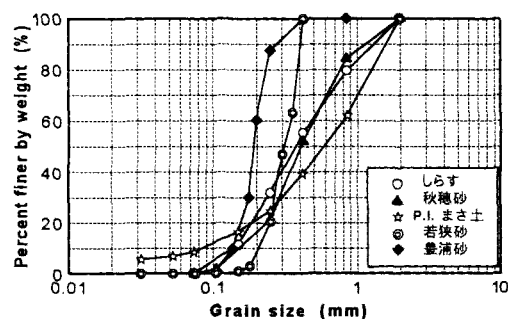


図-1

図-3(a),(b),(c)に対応する有効応力経路を示す。(a)のしらすは、圧縮側において、 $\sigma'_c=0.3\text{MPa}$ までは終局点が初期状態よりも右側にある膨張挙動を示しているが、 $\sigma'_c=1.0\text{MPa}$ になると終局点が初期状態よりも左側にある収縮挙動に転化した。伸張側も同様の挙動を示した。(b)の秋穂砂においてもしらすと同様に $\sigma'_c=0.3\text{MPa}$ までは膨張挙動を示したが、それよりも大きな拘束圧下では収縮挙動に転化している。しかし、その収縮性はしらすに比べ小さいことがみてとれる。(c)の P.I.まき土において、圧縮側では $\sigma'_c=0.3\text{MPa}$ で収縮挙動に転じている。以上のことより、破碎性土は粒子が脆いため、低い拘束圧域において収縮挙動を示していると考えられる。図-4に $Dr=50\%$ における変相点時におけるせん断強度 q_{pt}/σ'_c と初期有効拘束圧の関係を示す。低い拘束圧域では、 q_{pt}/σ'_c は粒子形状の複雑なしらすが他の

試料に比べ大きくなった。しかし、拘束圧の増加に伴い、しらすは若干減少しているのに対し、他の試料は拘束圧の増加に伴い、 q_{pt}/σ'_c は大きくなっている様子が伺える。これは、低い拘束圧域では、しらすの粒子の噛み合いが発揮され、 q_{pt}/σ'_c は大きくなるが、拘束圧の増加に伴い、噛み合い部分が破碎するため、減少していくと考えられる。

5. 非排水単調せん断特性に及ぼす粒子形状の影響

図-5に $\sigma'_c=0.1\text{MPa}$ における変相点時におけるせん断強度 q_{pt}/σ'_c と真円度 R_c の関係を示す。 R_c の値が大きくなるにつれて、すなわち、粒子形状が複雑な試料ほど q_{pt}/σ'_c は大きくなる傾向が認められる。次に粒子形状の拘束圧依存性について検討するため、各拘束圧における変相点時におけるせん断強度 q_{pt}/σ'_c と真円度 R_c の関係を図-6に示す。 $\sigma'_c=0.3\text{MPa}$ まではいずれの拘束圧下においても、 R_c が大きくなると、 q_{pt}/σ'_c も大きくなる傾向があることが見てとれる。しかし、その傾向は拘束圧の増加に伴い小さくなり、 $\sigma'_c=1.0\text{MPa}$ においては確認されなかった。これは拘束圧の増加に伴ってしらすの粒子同士の噛み合い部分で破碎が生じるためと考えられる。

6. まとめ

粒子形状が複雑なほど変相点時におけるせん断強度 q_{pt}/σ'_c は大きくなるのがわかった。しかし、拘束圧の増加に伴って粒子破碎が生じるため、その傾向は小さくなる結果となった。

参考文献：砂のような粒状体の粒子形状の簡易な定量化、土木学会論文集 pp95～103.1993

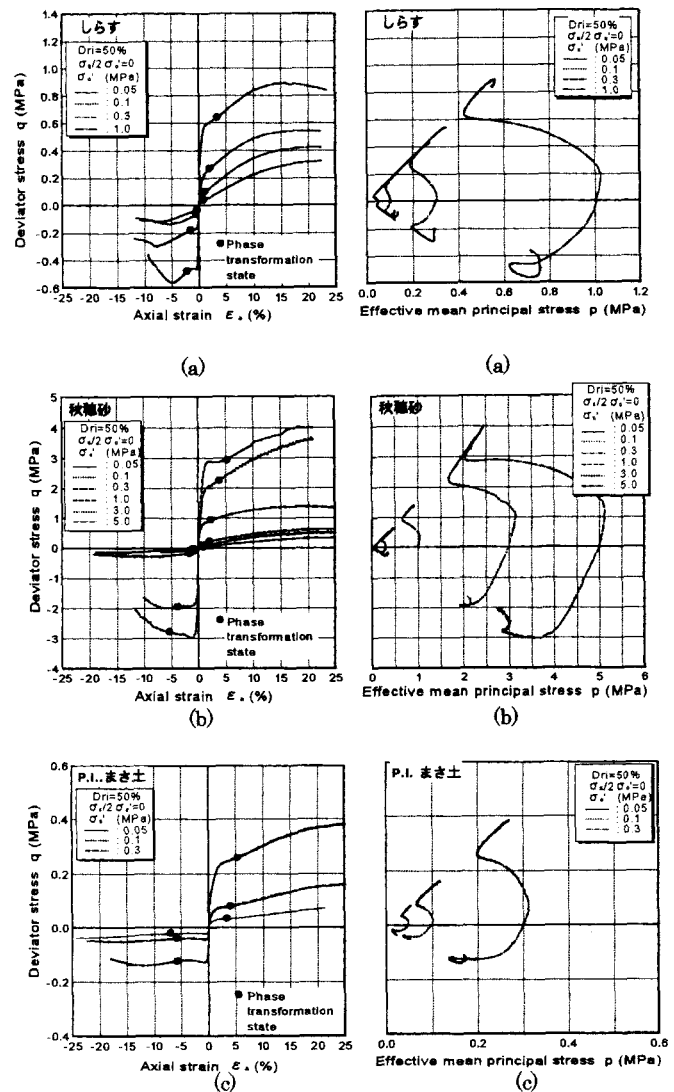


図-2

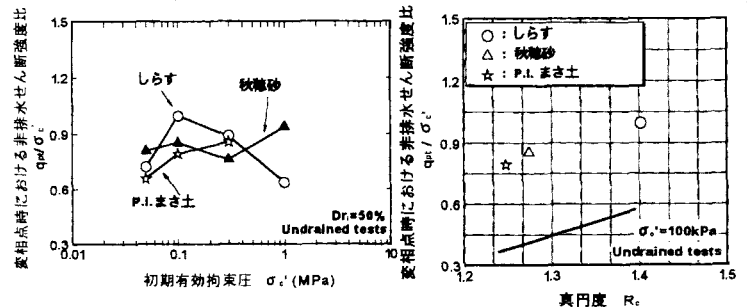


図-3

図-4

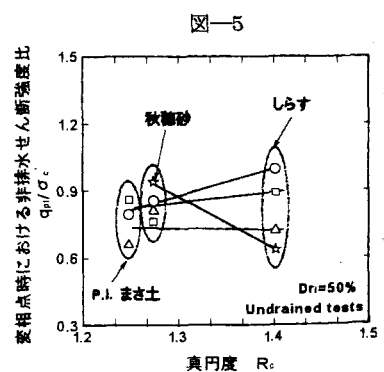


図-5