

砂の非排水繰返しせん断特性に及ぼす粒子形状の影響

山口大学大学院 学生員 ○水木崇文 松岡昇

山口大学工学部 正会員 兵動正幸 中田幸男 吉本憲正

1. はじめに

1995 年の兵庫県南部地震において埋立てまさ土が、1997 年の鹿児島北西部地震において 2 次堆積しらすが液状化を起こした。これらの土は粒子が脆弱な破碎性土であった。粒子破碎が地盤挙動に影響を及ぼすものとして、必ずしも土粒子が完全に割裂あるいは破碎される場合ばかりではなく、粒子表面の突起のわずかな欠損によることも多い。したがって、破碎性土の挙動を理解するためには土粒子の強さを知るばかりではなく、粒子の形状や表面の粗さも考慮する必要がある。そこで本研究では、砂の繰返し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、海砂としての若狭砂、秋穂砂、火山性土としてのしらす、それに豊浦標準砂の計 4 種類の試料を対象に実験を行った。しらすには細粒分が約 30% 含まれていたため 2mm ふるい通過分のうち 0.075mm 以下を取り除いて粒度調整した試料を用いた。供試体は空中落下漏斗法により初期相対密度 $D_{ri}=50\%$ になるように作製し、等方応力状態で非排水繰返しせん断試験を行った。表-1 に本研究で用いた試料の物理的性質を示す。図-1 にそれぞれの試料の粒径加積曲線を示す。秋穂砂としらすはよく似た粒度分布を示しており、豊浦砂と若狭砂は比較的粒径が均一あることが分かる。ここで、粒子形状を定量的に評価するために真円度（Roundness Coefficient）と縦横比（Aspect nation）の指標を導入する。真円度 R_c は吉村、小川¹⁾の用い

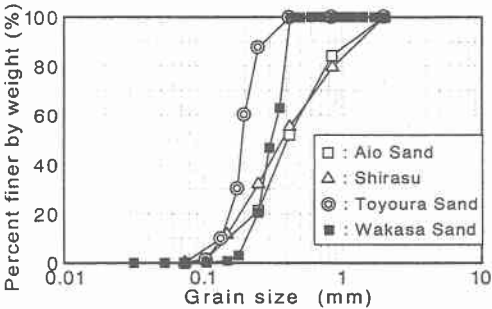


図-1 粒径加積曲線

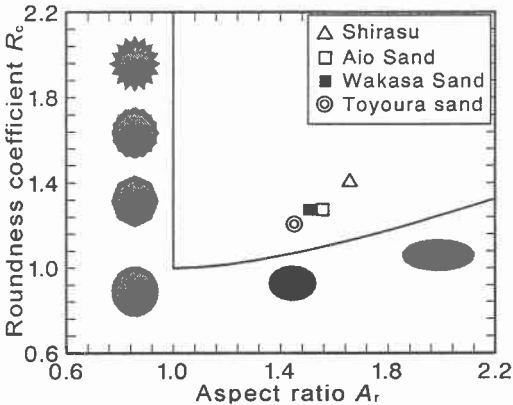


図-2 R_c と A_r の関係

表-1 試料物性

	ρ_s	e_{max}	e_{min}	U_c	R_c	A_r
Aio Sand	2.633	0.958	0.582	2.74	1.274	1.557
Wakasa Sand	2.649	1.105	0.680	1.66	1.272	1.506
Shirasu	2.307	1.551	1.027	3.38	1.402	1.657
Toyouura Sand	2.643	0.977	0.609	1.33	1.203	1.454

ている凸凹係数の逆数に相当するものである。図-2 は砂粒子の真円度 R_c と縦横比 A_r の関係を示したものである。 R_c は砂の粒子表面の粗さを示し、その値が大きくなるにつれて粒子形状が角張っていくこと、 A_r は砂の粒子の扁平さを示し、その値が大きくなるにつれて扁平になっていくことを示す。また、図中の曲線は表面が滑らかな楕円に対しての結果である。表-1、図-2 よりしらすは R_c 、 A_r の値がともに最も大きいことより、4 つの試料の中で粒子形状が最も角張っており、さらに扁平であることがわかる。豊浦砂は R_c 、 A_r の値がともに最も小さいことより、4 つの試料の中で粒子形状が最も滑らかで、さらにより真円に近いことがわかる。また R_c の値が大きい砂ほど、 A_r の値も大きくなる傾向が認められる。

3. 繰返しせん断挙動

図-3 にしらすと秋穂砂の相対密度 $D_{ri}=50\%$ 、 $\sigma'_c=100\text{ kPa}$ における繰返し三軸試験から得られた軸差応力-軸ひずみ関係と有効応力経路を示す。比較するしらすと秋穂砂は粒度分布と相対密度がほぼ同一であるので、両者の結果の違いは粒子の形状の違いが原因であり、しらすは粒子形状が複雑であるため軸ひず

みの急激な発達抑制された結果となっている。
また、有効応力経路においては、秋穂砂が繰返し回数の増加に伴い、過剰間隙水圧が蓄積し、有効応力が0に至って、液状化しているのに対し、しらすは繰返し回数の増加に伴って過剰間隙水圧が蓄積しているものの、有効応力は0に至らず液状化には至っていない。以上の結果より、しらす粒子の扁平さや粒子表面の粗さがインターロッキング効果を発揮し、軸ひずみの急激な発生を抑制し、液状化を起こすのを妨げたのではないかと考えられる。細粒分を有する原粒度のしらすは液状化を起こしやすい土²⁾であったのに対し、細粒分を取り除くことによるこのような変化は、しらすの粗粒子の特異な性質によるものと考えられる。

4. 繰返しせん断強度

図-4に本研究で用いた4つの試料の初期相対密度 $D_{ri}=50\%$ 、 $\sigma'_c=100\text{ kPa}$ における軸ひずみ両振幅 $\varepsilon_{DA}=5\%$ に至るのに必要な繰返し応力比と繰返し回数の関係を示す。液状化強度は粒子表面が最も粗いしらすは最も高く、粒子表面が最もなめらかな豊浦砂が最も低いことが分かる。図-5に繰返し回数20回時において、軸ひずみ両振幅 $\varepsilon_{DA}=5\%$ に至るに必要な繰返し応力比（以後、繰返しせん断強度と示す）と R_c の関係を示す。図より R_c の値が大きくなるにしたがい、繰返しせん断強度は大きくなっていることが分かる。これは R_c の値が大きいほど、粒子表面の角張りまたは扁平さによる繰返しせん断に対する抵抗力が大きくなるためと考えられる。次に、拘束圧の影響を調べるために、図-6に $\sigma'_c=50, 100, 300\text{ kPa}$ の繰返しせん断強度 $(\sigma_d/2\sigma'_c)_{N=20}$ と R_c の関係を示す。秋穂砂、若狭砂、豊浦砂については、ほとんど拘束圧の影響を受けないが、しらすは拘束圧の増加に伴い強度が高くなっていることが確認できる。この原因として、Shirasu は粒子が角張っているために拘束圧の増加に伴い、粒子の角張りがより接触し、角張りが強くなり合うためと考えられる。

6. まとめ

粒子形状の異なる4つの試料を用いて、 $\sigma'_c=50, 100, 300\text{ kPa}$ と変化させて繰返し三軸試験を実施した。その結果、粒子形状が複雑な粒子ほど軸ひずみの発生が抑制され、液状化抵抗を増すことが確認された。

【参考文献】：1) 吉村優治・小川正二：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、No. 463/Ⅲ-22, pp.95-103, 1993

2) 岡林巧・兵動正幸・安福規之・村田秀一：乱した一次しらすの非排水単調および繰返しせん断挙動、土木学会論文集、No. 499/Ⅲ-37, pp.197

-209, 1996

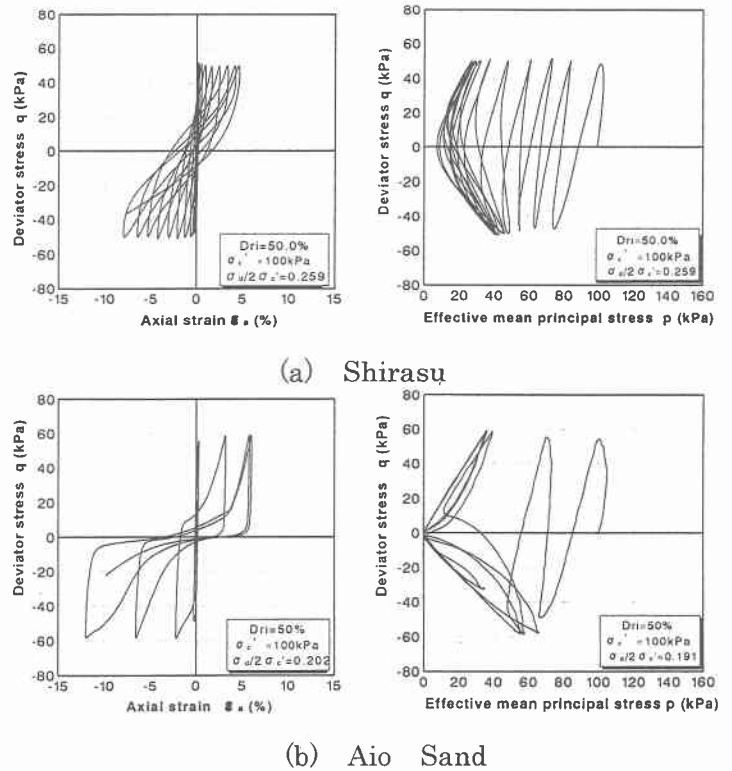


図-3 軸差応力-軸ひずみ関係および有効応力経路

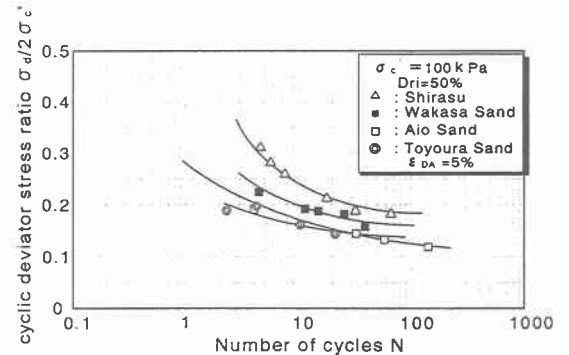


図-4 液状化強度曲線

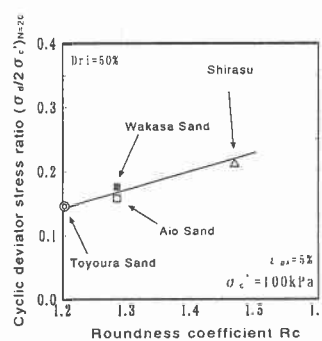


図-5 繰返しせん断強度と Roundness の関係

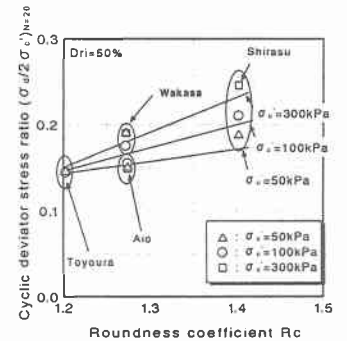


図-6 繰返しせん断強度と Roundness の関係(全拘束圧)