

# 種々の粒子形状を有する砂の繰返しせん断特性

山口大学大学院 学生員 ○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

山口大学大学院 学生員 水木崇文

## 1. はじめに

粒子が脆弱なまき土やしらすなどの破碎性土は地震時に液状化しやすいことが指摘されてきた。破碎性土に関する研究は、それぞれの土の特徴を解明すると同時に、より一般的な形で土質力学の体系の中に組み込んでいくことが重要であると考えられる。土粒子の破碎によって被る影響は、粒子が必ずしも完全に割裂あるいは粉碎されたためばかりではなく、粒子表面の突起のわずかな欠損に伴う土粒子骨格構造の変化により起こる場合も多い。したがって、土の破碎性を理解するためには、土粒子の強さを知るばかりでなく、粒子の形状や表面の粗さを知る必要がある。そこで本研究では、様々な粒子形状を有する砂を用いて、繰返しせん断特性に及ぼす粒子形状の影響について検討を行った。

## 2. 試料および試験方法

本研究では、山口県秋穂町で採取した粒子表面が滑らかなシリカ系の秋穂砂、豊浦砂、鹿児島島始良郡で採取したしらす、0.075mm以下の細粒分を除去したしらす、粒子表面が粗い福井県若狭湾岸で採取した若狭砂を用いて実験を行った。供試体は、空中落下法により相対密度  $D_r=50\%$  となるように作製した。その後、通水し飽和供試体を作製し、拘束圧  $\sigma'_c=100\text{kPa}$  で圧密した後、非排水条件で周波数  $f=0.1\text{Hz}$  のもと繰返し三軸試験を行った。表1に用いた試料の物理的性質を示す。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。粒度調整したしらすと秋穂砂もほぼ同様の粒度分布を示していることが確認できる。

## 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為の指標として以下に2つを用いた<sup>1)</sup>。

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

$L$  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。

$$A_r = a/b \quad (b > a) \cdots \cdots (2)$$

$b$  は投影粒子を楕円とみなした時の長軸方向の長さ、 $a$  は短軸方向の長さである。

$$(R_c)_{\text{ellipse}} = 1 + (A_r)^2 / 2(A_r) \cdots \cdots (3)$$

図2に本研究で用いた砂の真円度  $R_c$  と縦横比  $A_r$  の関係を示す。 $R_c = 1$  より大きな値になればなるほど、粒子の表面形状が粗い、あるいは扁平であることを示している。今回用いた試料は、豊浦砂が最も、真円に近く、粒度調整したしらすも最も粒子の表面が

表1 試料の物理的性質

|                         | $\rho_s (\text{g/cm}^3)$ | $e_{\text{max}}$ | $e_{\text{min}}$ | $U_c$ | $R_c$ | $A_r$ |
|-------------------------|--------------------------|------------------|------------------|-------|-------|-------|
| Toyoura sand            | 2.643                    | 0.977            | 0.609            | 1.33  | 1.203 | 1.454 |
| Aio sand                | 2.633                    | 0.958            | 0.582            | 2.74  | 1.274 | 1.557 |
| Shirasu                 | 2.489                    | 1.494            | 0.775            | 11.7  | 1.347 | 1.537 |
| Shirasu (without fines) | 2.307                    | 1.551            | 1.027            | 3.38  | 1.402 | 1.657 |
| Wakasa sand             | 2.649                    | 1.105            | 0.680            | 1.66  | 1.272 | 1.506 |

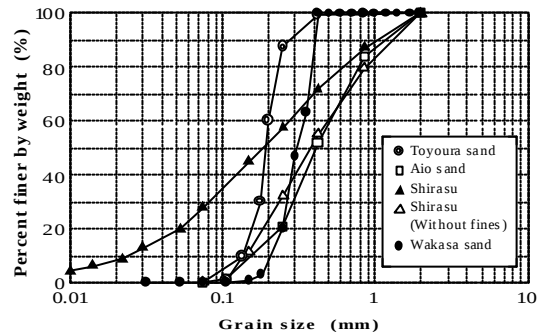


図1 試料の粒径加積曲線

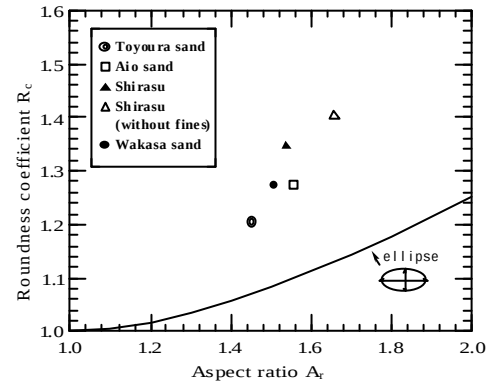
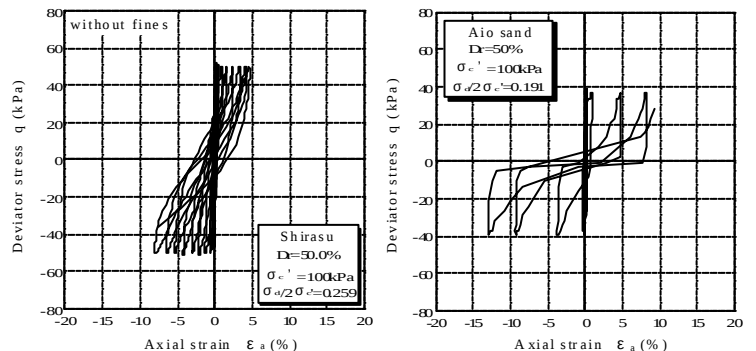


図2 真円度と縦横比の関係



(a) 粒度調整したしらす

(b) 秋穂砂

図3 軸差応力-軸ひずみ関係

**キーワード：**粒子形状、繰返しせん断、拘束圧

連絡先：755-8611 山口県宇部市常盤台2-16-1 山口大学工学部 TEL(0836)85-9344 FAX(0836)85-9301

<http://geotech.civil.yamaguchi-u.ac.jp/>

粗い、あるいは、粒子が扁平であることがわかる。

#### 4. 非排水繰返し三軸試験結果

図3(a)、(b)に  $Dr=50\%$ 、 $\sigma'_c=100\text{kPa}$  における試料の軸差応力 - 軸ひずみ関係を示す。図(a)の粒度調整したしらすは、繰返しせん断に対して比較的高い剛性を残しながら、軸ひずみが徐々に発生していく結果となった。一方、図(b)の秋穂砂は、載荷初期にひずみの発生はほとんど確認されないが、ある繰返し回数を越えると急激に軸ひずみが発生し、最終的に圧縮、伸張共に大きく軸ひずみが発生している。

両者の比較から、しらすの粗粒子は表面が粗いため、繰返しせん断抵抗が大きく、粒子の表面形状が軸ひずみの発達に影響を与えることが分かる。次に対応する有効応力径路を図4(a)、(b)に示す。図(a)の粒度調整したしらすは、繰返し回数の増加と共に過剰間隙水圧が蓄積していき、定常ループを描き破壊に至っているが有効応力が完全には0にならず、完全液状化には至っていない。一方、図(b)の秋穂砂では繰返し回数の増加と共に、過剰間隙水圧が上昇していき、完全液状化に至っていることが分かる。図(b)の秋穂砂の結果は、典型的な液状化の挙動を示しているのに対して、図(a)では、変相線に達した後も、急激な過剰間隙水圧の上昇は見られず、むしろ抑制される挙動を示す。図5において相対密度  $Dr=50\%$ 、軸ひずみ両振幅  $\varepsilon_{DA}=5\%$  を繰返し破壊と定義し、 $\sigma'_c=100\text{kPa}$  における全試料の液状化強度を示す。この条件においては、粒度調整したしらす、若狭砂などの強度が高く発揮され、豊浦砂や秋穂砂など粒子表面が滑らかな試料ほど強度は低い結果となった。粒度調整したしらすなどの表面の粗い砂は、粒子同士の噛み合いによる、インターロッキング効果が発揮され、強度が高く発揮されたと考えられる。しらすにおいては細粒分が粗粒子同士の噛み合いを妨げたために強度が低くなったと推察される。図6に繰返し回数20回時における繰返し応力比と拘束圧の関係を示す。秋穂砂、若狭砂は拘束圧が増加しても、強度の変化はないが、粒度調整したしらすは拘束圧の増加とともに、強度が増加していることが確認できる。これはしらすの粗粒子が拘束圧の増加によってインターロッキング効果が発揮されやすい構造に至ったためと考えられる。全拘束圧下における砂の繰返し回数20回時における繰返し応力比と粒子形状パラメータの関係を図7に示す。豊浦砂、若狭砂、秋穂砂は拘束圧の増加に伴う強度の変化はほとんど見られないが、粒度調整したしらすは拘束圧の増加に伴って強度が発揮されている。この拘束圧の範囲内では、粒子形状が複雑になるほど、また拘束圧が大きくなるほど強度は大きく発揮されることが分かる。

#### 5. まとめ

繰返しせん断挙動において、粒子の表面形状は、軸ひずみの発達に大きな影響を与えることが明らかとなった。繰返しせん断強度は、粒子形状が複雑な試料ほど、また拘束圧が増加するほど影響が大きくなることがわかった。

#### 【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/ -22, pp.95-103, 1993

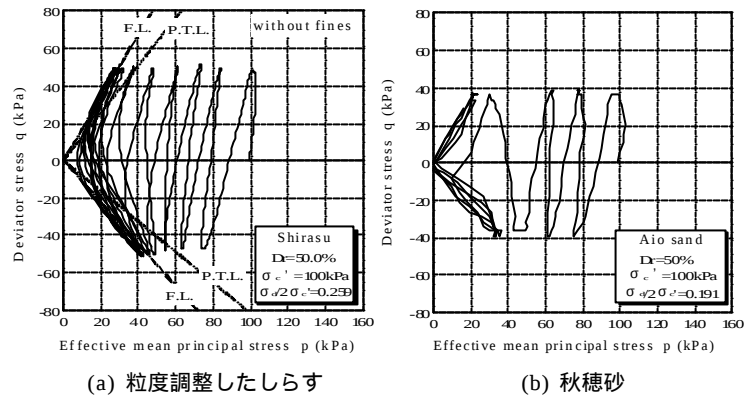


図4 有効応力径路

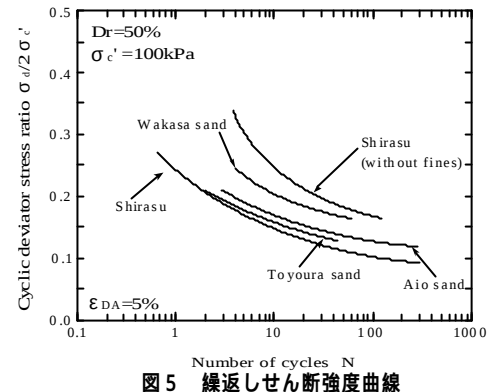


図5 繰返しせん断強度曲線

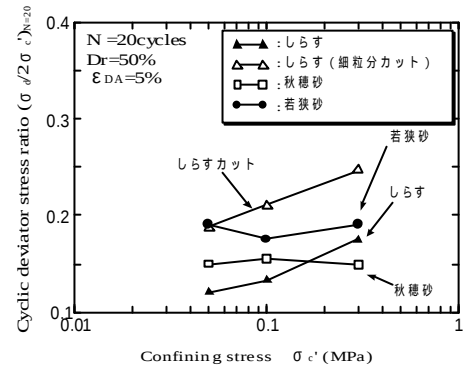


図6 繰返しせん断強度と拘束圧の関係

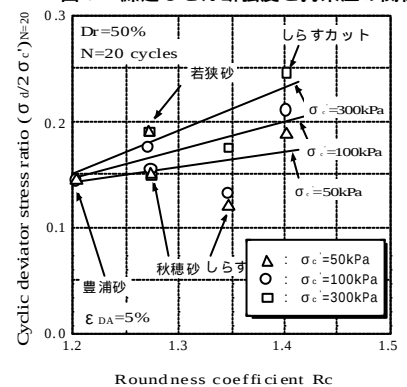


図7 繰返しせん断強度と  $R_c$  の関係