

粒子形状が及ぼす単調せん断特性への影響

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. まえがき

まさ土やしらすなどは脆弱な粒子から成るわが国における代表的な破碎性土である。これらの粒子は、自然環境の中でも破碎され、その表面形状は粗く角張ったものとなっている。一方、シリカ系の海砂は、その堆積環境から、粒子表面は研磨され、丸みを帯びているのが一般的である。このような粒子形状及び表面形状が構成される地盤の力学特性に及ぼす影響は無視できないと考えられる。そこで本研究では、様々な粒子形状を有する試料を用いて非排水三軸試験を行い、粒子形状が土のせん断特性へ与える影響を調べることを目的とした。

2. 試料および試験方法

用いた試料は、山口県秋穂町の海岸で採取したシリカ系の海砂の秋穂砂、鹿児島県始良郡で採取したしらす、アイルランド西海岸で採取されたカーボネイト砂のドッグスベイ砂、兵庫県のポートアイランドで採取されたPI まさ土である。いずれの試料も 2mm 以上の粗粒分を取り除き、しらす及びPI まさ土は 0.075mm 以下の細粒分を除去した。供試体は、空中落下法により所定の相対密度となるように作製した。その後、通水し飽和供試体を作製し、所定の拘束圧で圧密した後、非排水三軸試験を行った。表－1 に今回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。図より粒度調整されたしらすは秋穂砂と、よく似た粒度分布を示していることが分かる。

3. 粒子形状の評価方法

本研究では粒子形状を評価するパラメータとして、真円度 R_c と縦横比 A_r を用いた。 R_c は吉村ら¹⁾が定義した FU の逆数に相当する。

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

$$A_r=a/b\ (b\geq a)\cdots\cdots(2)$$

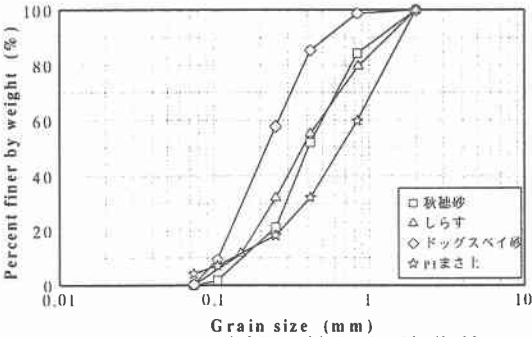
ここで、 L は投影粒子の周囲長、 A は投影粒子の断面積、 b は長軸方向の長さ、 a は短軸方向の長さである。楕円の面積を $(\pi\times(a/2)\times(b/2))$ 、周囲長を $(\pi\times((a^2+b^2)/2)^{1/2})$ とすると真円度と縦横比の関係は次式で表される。

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

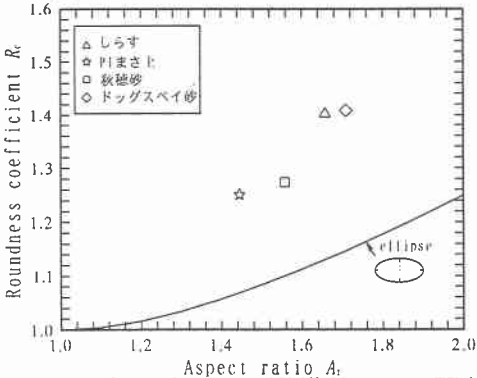
図－2 に本研究で用いた砂の真円度 R_c と縦横比 A_r の関係を示す。図より、ドッグスベイ、しらすは粒子形状が複雑であるため、真円度 R_c や縦横比 A_r は大きな値を示した。また、真円度 R_c と縦横比 A_r には、縦横比 A_r が大きくなるほど真円度 R_c も大きくなるという性質がある。真円度 R_c は粒子形状の複雑さを表す値で、粒子表面の角張りや扁平さの両方を含んでいる。そこで粒子の表面形状のみを表すために次式で示すパラメータ R_c^* を定義した。 R_c^* は楕円の境界から真円度までの距離である。

表－1 試料の物理的性質

	$\rho_s\ (g/cm^3)$	e_{max}	e_{min}	U_c	R_c	A_r	R_c^*
秋穂砂	2.633	0.958	0.582	2.74	1.274	1.557	0.174
しらす	2.307	1.551	1.027	3.38	1.402	1.657	0.272
ドッグスベイ砂	2.723	2.451	1.621	1.76	1.409	1.709	0.262
PIまさ土	2.624	0.967	0.491	7.00	1.248	1.412	0.188



図－1 試料の粒径加積曲線



図－2 真円度 R_c と縦横比 A_r の関係

$$R_c^* = R_c - (R_c)_{\text{ellipse}} \cdots (4)$$

すなわち、 R_c^* が大きい程、粒子の表面が粗いことを意味している。

4. 非排水単調せん断特性

図-3に本研究で用いた試料の非排水せん断試験から得られた軸差応力-軸ひずみ関係を示す。図中の黒丸プロットは、それぞれの変相点の位置を示したものである。

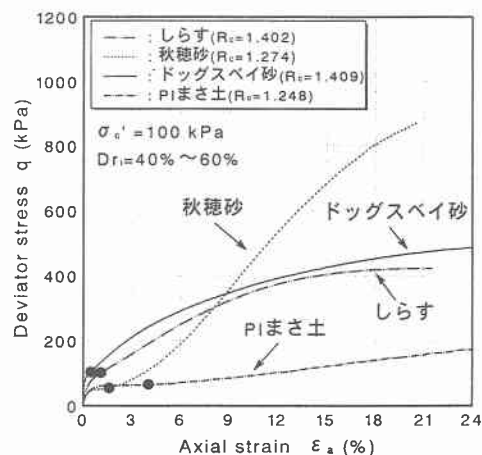


図-3 軸差応力-軸ひずみ関係

しらす及びドッグスベイ砂は変相点までは高い強度を示すが、変相点以降は弱い硬化挙動を示し、その後定常状態に至っている。秋穂砂は変相点以降急激なひずみ硬化挙動を示し、大きな強度となっている。PI まさ土は変相点までの強度も低く、変相点以降もさほどの硬化もなく定常状態に至っている。ここで変相点における軸差応力と軸ひずみに着目すると、粒子表面が複雑であるしらす、ドッグスベイ砂は変相点までにほとんど軸ひずみが発達していないことがわかる。また、静的せん断強度に着目すると変相点まではしらす、ドッグスベイ砂は他の試料に比べて、高い強度が発揮されている。これは粒子表面が粗いしらす、ドッグスベイ砂の粗粒子同士のインターロッキング効果がより顕著であったためと推察される。これらの土の粒子表面は脆弱であるため、変相点後は粒子表面の突起が破碎を起こし、粒子が堅固な秋穂砂に比べ強度が低くなったと考えられる。図-4に対応する有効応力径路を示す。すべての試料において変相点以降、膨張挙動を示しているが、PI まさ土に比べて、粒子の表面形状がより複雑なしらす、ドッグスベイ砂は顕著な膨張挙動を示している。次に粒子の表面形状が強度に及ぼす影響を検討するため、粒子の表面形状を表す R_c^* に着目し、変相点時における非排水せん断強度比と R_c^* の関係を図-5に示す。図より R_c^* が大きくなるにつれて、強度も大きくなる傾向になることが確認できる。したがって、変相点時における非排水単調せん断強度は、粒子の表面形状と強い相関性があるといえる。次に軸ひずみ 20% 時における非排水せん断強度比と R_c^* の関係を図-6に示す。4つの試料の中で秋穂砂だけが大きな強度を示している。軸ひずみ 20% 時には粒子の脆弱な 3つの試料は粒子の破碎によって強度が低くなり、秋穂砂においては粒子が堅固であるため強度が高くなったと考えられる。このことより、軸ひずみ 20% 時における非排水単調せん断強度は、粒子形状よりも粒子表面の強さの影響が大きいと考えられる。

5. まとめ

$\sigma'_c = 100 \text{ kPa}$ の非排水せん断において、変相点時の非排水せん断強度比は、粒子形状が複雑な土ほど大きくなることが明らかとなった。また、軸ひずみ 20% 時の非排水せん断強度比は、粒子形状よりも粒子表面の強さの影響が大きいことが判明した。

【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

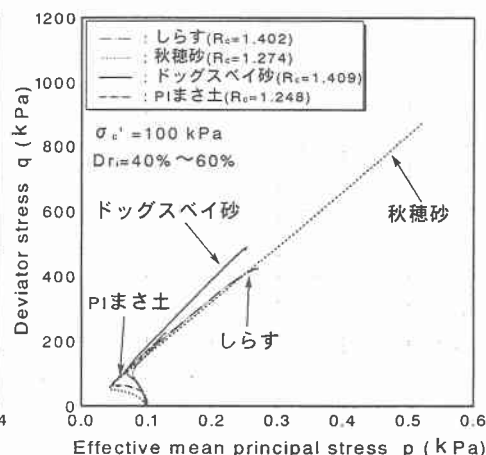


図-4 有効応力径路

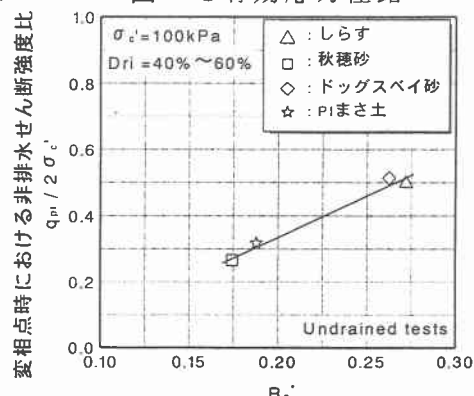


図-5 変相点時における非排水せん断強度比と R_c^* の関係

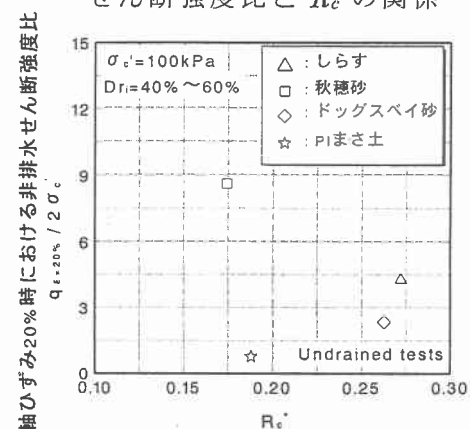


図-6 軸ひずみ 20% 時における非排水せん断強度比と R_c^* の関係