

しらすの非排水繰返しせん断特性に 及ぼす細粒分の影響

山脇大輔¹・兵動正幸²・吉本憲正³・岡林巧⁴・松岡昇⁵

¹学生会員 山口大学大学院 社会建設工学専攻 (〒755-8611 山口県常盤台 2-16-1)

²正会員 工博 山口大学教授 工学部社会建設工学科 (〒755-8611 山口県常盤台 2-16-1)

³正会員 工修 山口大学助手 工学部社会建設工学科 (〒755-8611 山口県常盤台 2-16-1)

⁴正会員 工修 鹿児島高等専門学校助教授 土木工学科(〒899-5193 鹿児島県始良郡隼人町真孝 1460-1)

⁵学生会員 山口大学大学院 社会建設工学専攻 (〒755-8611 山口県常盤台 2-16-1)

しらすには母粒子が破碎してできた細粒分が 20~30%含まれており、その存在が地盤の挙動に大きく影響を及ぼしていると考えられる。そこで、しらすの繰返しせん断特性に及ぼす細粒分の影響を把握するために、原粒度試料と細粒分を除去した試料を対象に繰返し三軸試験を行なった。その結果、細粒分を含むしらすは流動的な変形を示し、軸ひずみが急激に発生する挙動を示した。また、細粒分を除去したしらすと比較すると、液状化強度は低く、初期せん断応力の増加に対しても、液状化強度が発揮しにくい結果を得た。

*Key Words : shirasu, initial shear stress, liquefaction,
particle breakage, fines,*

1. まえがき

本研究は、著者らが進めている破碎性土の力学特性に関する研究の一環として、南九州に広く分布するしらすを対象に一連の実験を行ったものである。我が国には、弱溶結火砕流土であるしらすや、風化残積土であるまさ土等の非常に脆弱な粒子からなる破碎性土が広域にわたって分布している。特に南九州において広く分布しているしらすは、総面積約 4,700km²にもおよぶ。近年、このようなしらす地盤における地震時の液状化の危険性が指摘され、液状化特性の把握が急務となっている¹⁾。また、しらすには、その母粒子が粉碎してできた細粒分が 20~30%含まれており、その存在がしらす全体の挙動に大きく関与しており、繰返しせん断強度を弱める働きをしていることが過去の研究において明らかとされている。²⁾
³⁾ 構造物の基礎地盤では、その近傍において初期せん断応力が卓越する応力状態にあると考えられる。そこで本研究では、しらすの緩詰め状態に着目し、初期せん断応力作用下で細粒分が繰返しせん断特性に及ぼす影響を調べることを目的とした。

表-1 試料の物理的性質

	ρ_s (g/cm ³)	e_{max}	e_{min}	U_c
しらす	2.489	1.494	0.775	11.75
しらす (細粒分カット)	2.307	1.551	1.027	3.35
秋穂砂	2.633	0.958	0.582	2.74

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 1 次しらすを用いた。原位置のしらすには約 5%の礫分が混入していたが、実験の都合上除去した。本研究では、このように礫分のみを取り除いた原粒度試料と、さらにその試料から 0.074mm 以下の細粒分を除去した試料の二種類に粒度調整し、三軸試験を行った。供試体は空中落下漏斗法により、初期相対密度 $D_{ri}=50\%$ となるように作製した。このような供試体に初期拘束圧をそれぞれ $\sigma'_c = 50, 100, 300\text{kPa}$ になるように、等方及び異方圧密 (初期せん断応力比 $\sigma_s/2\sigma'_c = 0, 0.2, 0.4$) を行い、繰返しせん断試験

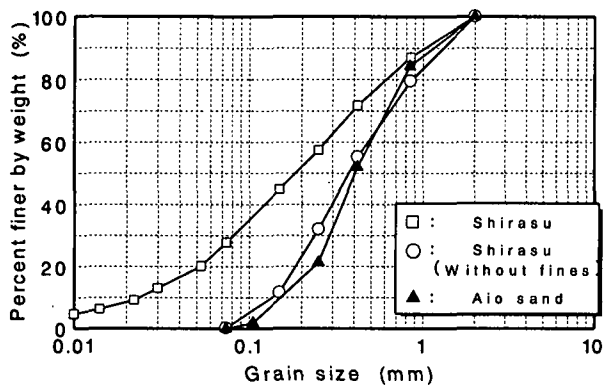


図-1 試料の粒径加績曲線

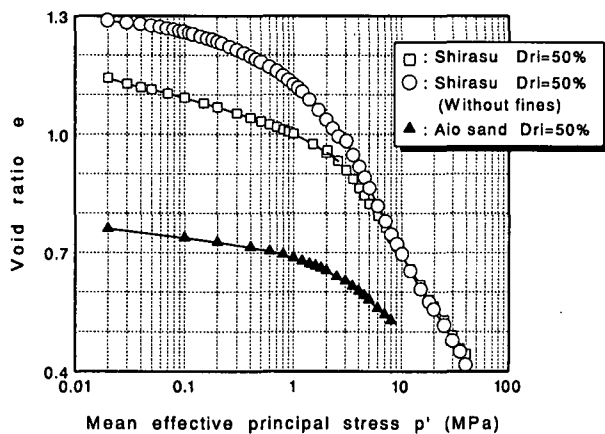
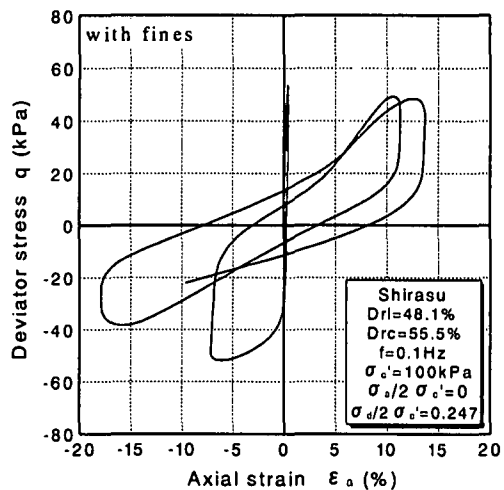


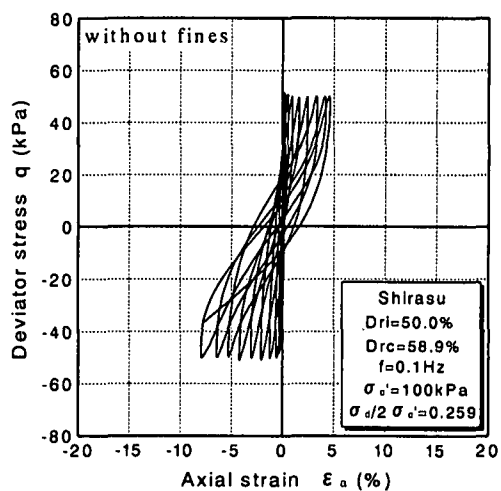
図-2 等方圧縮による e - $\log p$ 関

を行った。それぞれの試料の物理的性質は、表-1に示すとおりである。

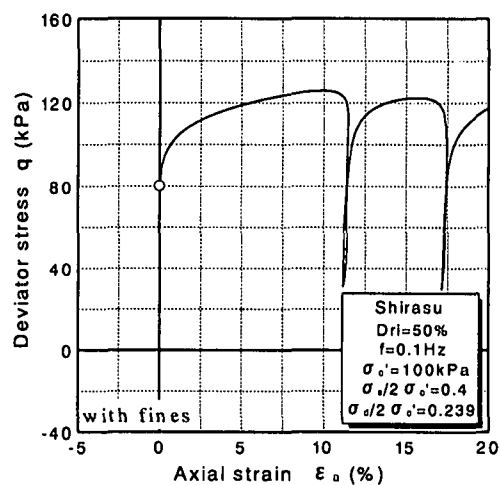
図-1にそれぞれの試料の粒径加績曲線を示す。図中、比較のためにシリカ系の海砂である秋穂砂についても示した。原粒度のしらすは良好な粒度分布を示している。また、細粒分を約3割弱含んでいることも観察できる。細粒分を除去したしらすは、秋穂砂と良く似た粒度分布を示している。図-2にそれぞれの初期相対密度 $D_{ri}=50\%$ における等方圧縮による試料の e - $\log p$ 関係を示す。細粒分を除去したしらすは、原粒度のしらすと比較し低圧域では間隙比が大きい。圧縮性が高く、3MPa 付近から両者の曲線が接近し、それ以降はほぼ両者は同一の直線を描く。しらすはいずれも秋穂砂に比べ、低い圧力域において圧縮性が高いことも特徴である。また、原粒度のしらすは圧力の増加に対して直線的に間隙比が減少して行き、明確な折れ曲がり点が観察できる。



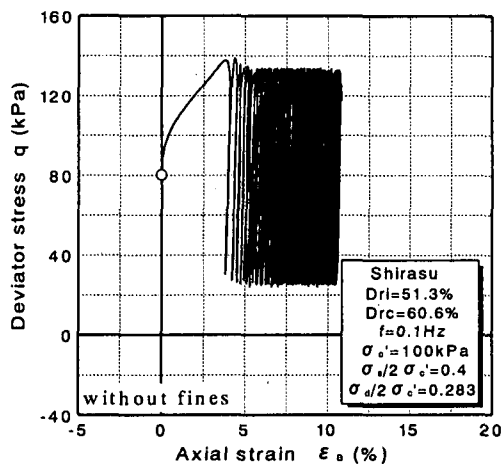
(a) しらす (原粒度) $\sigma_s/2\sigma_c' = 0$



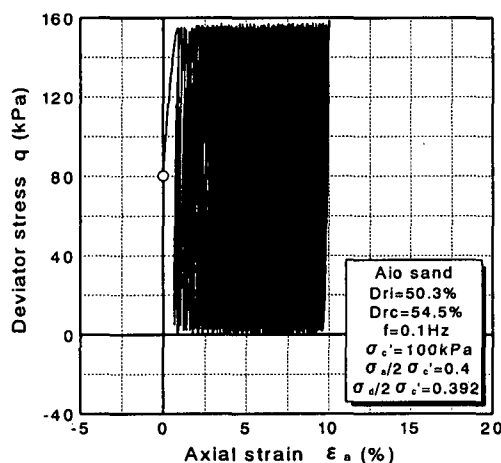
(b) しらす (細粒分カット) $\sigma_s/2\sigma_c' = 0$



(c) しらす (原粒度) $\sigma_s/2\sigma_c' = 0.4$

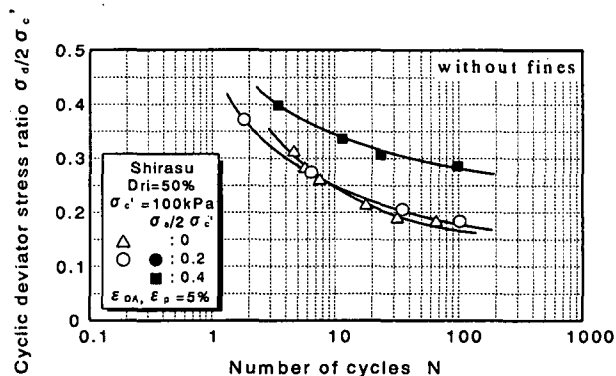


(d) しらす (細粒分カット) $\sigma_d/2\sigma'_c = 0.4$

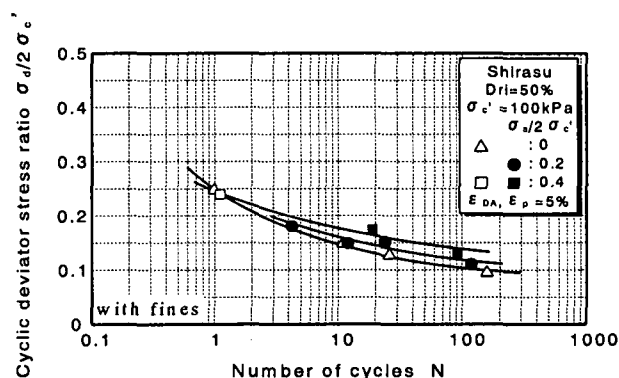


(e) 秋穂砂 $\sigma_d/2\sigma'_c = 0.4$

図-3 軸差応力-軸ひずみ関係



(a) しらす (原粒度)



(b) しらす (細粒分カット)

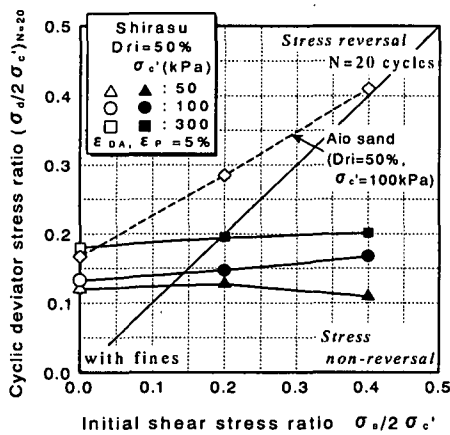
図-4 $\epsilon_{da}=5\%$ または $\epsilon_p=5\%$ に至るに必要な
応力比と繰返し回数の関係

3. 実験結果

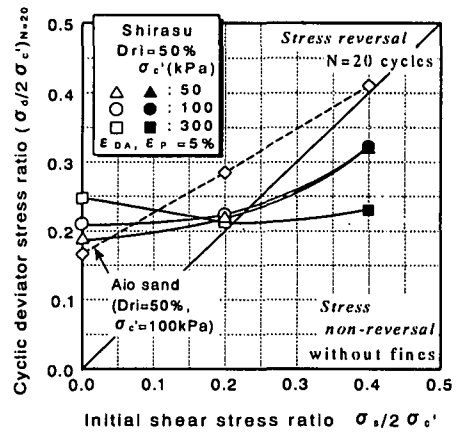
(1) 繰返しせん断挙動

図-3(a)～(d)に原粒度と細粒分を除去したしらすの等方および異方圧密下の軸差応力-軸ひずみ関係を示す。また、図-3(e)には比較のために異方圧密下の秋穂砂の結果についても示した。(a)ではある繰返し回数を越えると急激に軸ひずみ両振幅が発達し、破壊に至っている様子が認められる。さらに、伸張側に劣らず圧縮側においても軸ひずみの発達が顕著であり、圧縮伸張ほぼ均等に軸ひずみが発達し、流動的な挙動を示している。これに対し、細粒分を除去した(b)では、軸ひずみ両振幅が徐々に発達していくCyclic mobility的な挙動を示している。また、(a)の挙動と比較すると、せん断剛性が高く、比較

的高い剛性を保持している。また、(c)の初期せん断応力下の原粒度しらすでは、片振りの繰返し载荷にもかかわらず、急速に残留軸ひずみが発達していき破壊に至っている。一方、細粒分を除去した(d)では、軸ひずみは繰返し一波目に大きく発生した後、徐々に蓄積していき、多くの繰返し回数を経て最終的に軸ひずみが残留して破壊に至っている。一方、秋穂砂の(e)は、(d)と類似の挙動ではあるが、細粒分を除去したしらすより残留軸ひずみに対しさらに抵抗が強く、有意な残留ひずみの発達のためには、繰返し応力の圧縮から伸張への応力反転を伴うような高い繰返し応力を必要とした。このような違いはそれぞれの試料のダイレイタンス特性の違いを反映しており、初期せん断応力下ではしらすには粒子破碎が生じるため秋穂砂に比べかなり低い抵抗を示す結果となった。



(a) しらす (原粒度)



(b) しらす (細粒分カット)

図-5 繰返し回数 20 回で $\varepsilon_{DA}=5\%$ または $\varepsilon_p=5\%$ に至るに必要な応力比と初期せん断応力比の関係

(3) 繰返しせん断強度

図-4 に軸ひずみ両振幅あるいはピーク軸ひずみのいずれか 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それぞれ示す。図中の白抜きのプロットは軸ひずみ両振幅 ε_{DA} ，黒塗りはピーク軸ひずみ ε_p を示し、いずれか最初に 5% に至った方を破壊ひずみとしている。 ε_{DA} とは圧縮側と伸張側の繰返し応力のピーク点での軸ひずみの差であり、 ε_p とは繰返し応力圧縮側載荷時のピーク点における軸ひずみである。原粒度のしらすでは初期せん断応力の増加に伴う強度の変化はほとんどみられない。それに対し、細粒分を除去したしらすでは初期せん断応力比 0.2 以下では強度の変化がほとんどみられないが、0.4 では強度の増加が認められる。また、細粒分を除去したしらすの強度は、原粒度の強度と比較してかなり大きく現れている。これは、細粒分を除去することで粗粒子同士の接触が多くなるためと考えられる。加えて初期せん断応力が増加することにより安定した構造が形成されたためと推察される。

図-5(a), (b) に繰返し回数 20 回で軸ひずみ両振幅またはピーク軸ひずみ 5% を生じるに必要な繰返し応力比と初期せん断応力比の関係を、原粒度および細粒分を除去したしらすについてそれぞれ示した。なお、図中に比較として秋穂砂についても示した。(a) の原粒度しらすでは、いずれの拘束圧においても初期せん断応力比の増加に伴うせん断強度の変化がほとんど認められない。また、伸張側への応力反転が無い領域においても破壊に至っているのが特徴的である。一方、細粒分を除去した(b)では、 $\sigma'_c = 50, 100 \text{ kPa}$ において初期せん断応力比の増加に伴いせん断強度は増加しているが、 $\sigma'_c = 300 \text{ kPa}$ では逆に減少を示している。また、 $\sigma_s/2\sigma'_c = 0.2$ では、破壊

に至るために伸張側への応力反転を必要としているが、 $\sigma_s/2\sigma'_c = 0.4$ では応力反転を伴わずに破壊に至っている。さらに(a)との対比で、強度はかなり高くなっていることがわかる。一方、秋穂砂では、初期せん断応力比の増加に伴いせん断強度は増加し、すべて応力反転を伴い破壊に至った。以上のことからしらすは、細粒分を除去することで、粗粒子の粗い粒子表面の接触によりインターロッキング効果が強く発揮され、初期せん断応力の増加に対し強度が増加したと考えられる。しかし秋穂砂と比較し、しらす粒子が脆弱であるためせん断中に粒子破碎が生じ、強度が低下したものと推察される。

1. まとめ

初期せん断応力下の繰返しせん断下において、しらすの細粒分は流動的な変形を誘い、軸ひずみを急激に発達させる結果となった。また、細粒分は初期せん断応力の増加に対しても、強度の増加を妨げる結果となった。

参考文献

- 1) 兵動・中田・井上・澤村：しらすの単調および繰返しせん断特性に及ぼす拘束圧の影響。第 34 回地盤工学発表会講演概要集，pp. 1011-1012, 1999.
- 2) 兵動・中田・澤村・山脇：しらすの繰返しせん断特性に及ぼす細粒分の影響。第 35 回地盤工学発表会講演概要集，pp. 781-782, 2000.
- 3) 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.