

山口大学工学部 正会員 兵動正幸 中田幸男
 山口大学大学院 学生員 澤村仁志
 山口大学大学院 学生員 山脇大輔

1. はじめに

本研究は、破碎性土の力学特性の研究の一環として南九州に広く分布するしらすに対して、一連の繰返し三軸試験を行ったものである。地山しらすを水搬送工法により運搬し埋立てられた埋立地盤が、鹿児島県内にはいくつか存在しており、このような緩いしらす地盤が地震時に、液状化しやすいことが指摘されてきた。しらすには母粒子の粉碎した細粒分が相当量含まれており、その存在がしらす全体の挙動に大きく関与しているのではないかと考えられる。本研究では、細粒分を含む場合と除去した場合のしらす試料に対し繰返し三軸試験を行い、繰返しせん断特性に及ぼす細粒分の影響を調べた。

2. 試料および実験方法

実験対象の試料は、鹿児島県始良郡で採取した1次しらすである。原位置のしらすには約5%の礫分が混入していたが、礫分除去した試料と、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を用い繰返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 $D_{ri}=50\%$ となるように作成した。このような供試体を初期拘束圧 $\sigma'_c=50, 100, 300\text{kPa}$ でそれぞれ等方圧縮後、非排水状態で繰返しせん断試験を行った。表-1に細粒分を含むしらす(原粒度しらす)と除去したしらす及び比較のため、シリカ系の海砂である秋穂砂の物理的性質をそれぞれ示した。

表-1 試料の物理的性質

	s	e_{max}	e_{min}	U_c
秋穂砂	2.633	0.958	0.582	2.74
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

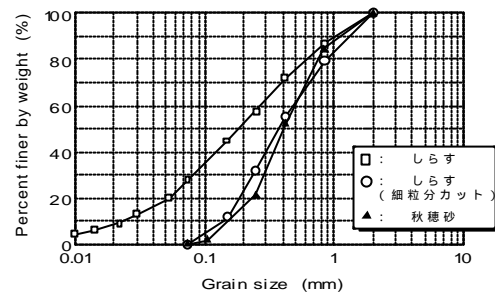


図-1 試料の粒径加績曲線

3. 試験結果および結果

(1) しらすの力学特性

図-1にそれぞれの試料の粒径加績曲線を示す。図中、秋穂砂の粒度分布についても示した。細粒分を除去したしらすは、秋穂砂と良く似た粒度分布となった。原粒度のしらすは細粒分が全体の3割弱含まれ、良好な粒度分布を示している。しらすの間隙比と顕微鏡写真から、しらすの細粒分は弱いマトリックスを構成しており、粗粒分は其中に含まれる形となってお互いの接触が緩衝される構造になっている。図-2にそれぞれの試料の $e-\log p'$ 関係を示す。

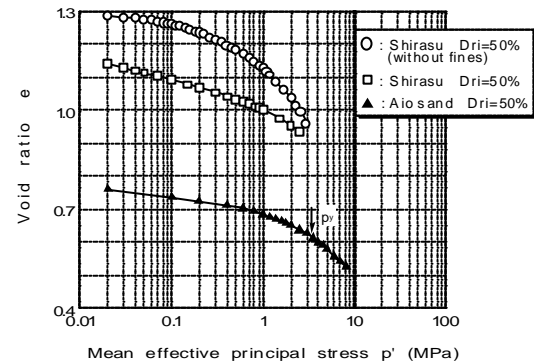
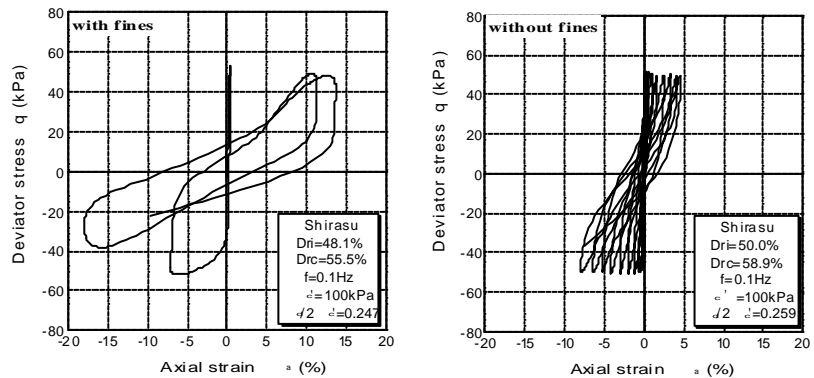


図-2 $e-\log p'$ 関係

細粒分を除去したしらすは、原粒度のしらすと比べ間隙が大きいが、3MPa付近で間隙比がかなり近くなっている。また、低い圧力域においても圧縮性が大きいのも特徴的である。一方、原粒度のしらすは拘束圧の増加に対して直線的に間隙が減少しており、細粒分の構造が破壊していく様子が推察される。

(2) 繰返しせん断挙動

図-3(a),(b)にそれぞれ細粒分を有する試料と除去した試料に対する軸差応力と軸ひずみ関係の一例を示す。拘束圧 $\sigma'_c=100\text{kPa}$ 下において、(a)ではある繰返し回数を越えると急激に軸ひずみ



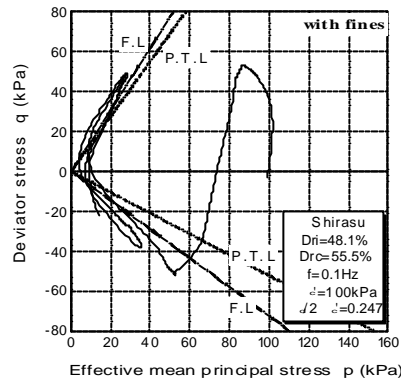
(a) しらす(原粒径) (b) しらす(細粒分カット)

図-3 軸差応力-軸ひずみ関係

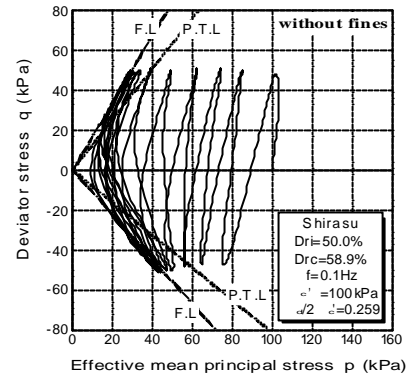
み振幅が発達し、破壊に至っている

キーワード: しらす、非排水繰返しせん断、細粒分

様子が認められる。さらに、伸張側に劣らず圧縮側での軸ひずみ増加が大きく発生しており、比較的圧縮伸張均等に軸ひずみの発達性状を表し、流動的で緩やかな力-変を描く形状を示している。これに対し、細粒分を除去した(b)では、軸ひずみ振幅が徐々に発達する Cyclic mobility 的挙動を示している。また、(a)と比べ非常に剛性が強く軸ひずみを生じにくい挙動となっている。図 - 4(a), (b)



(a) しらす (原粒径)



(b) しらす (細粒分カット)

図 - 4 有効応力経路

は対応する有効応力経路を描いたものである。両者ともほぼ同程度の応力比の载荷にもかかわらず、両者の挙動に明瞭な差異が認められる。原粒径のしらすは、载荷初期に急激な有効応力の低下を伴い数サイクルのうちに有効応力ゼロに到達しているのに対し、細粒分を除去したしらすでは、有効応力は徐々に減少を伴うものの完全にゼロになることはなく、最終的液状化に至らず、有効応力経路は破壊線に接する形で定常な弧を描いていることが観察される。このような細粒分の有無による挙動の違いを以下のように考察することが出来る。すなわち、原粒径のしらすにおいては、前述のような細粒分の緩いマトリックスにより、粗粒分同士はさほど接触を持たないまま繰返しせん断により細粒分が収縮挙動をとるのに対し、細粒分を除去したしらすでは、表面の角張った素粒子同士がせん断によりインターロッキングを起こして間隙水圧の発達を妨げたのではないかと推察される。

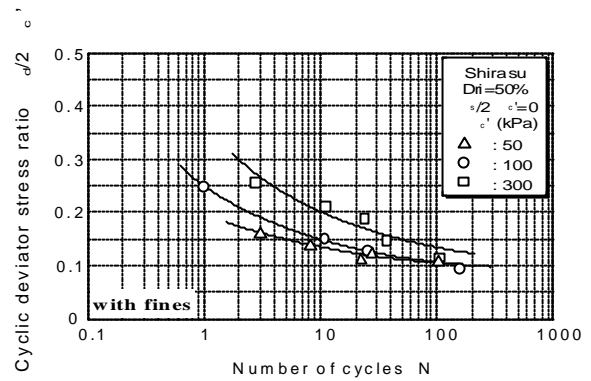
(3) 繰返しせん断強度

図 - 5は、軸ひずみ両振幅 $DA=5\%$ に至るに必要な繰返し応力比と繰返し回数の関係を示したものである。図(a),(b)の比較から、細粒分を除去したしらすの方が原粒径のしらすより全ての拘束圧において大きな繰返しせん断強度を示していることがわかる。(a)の原粒径のしらすにおいて初期有効拘束圧の増加に伴い、繰返しせん断強度が増加することが認められる。特に少ない繰返し回数においてその特性はより顕著に認められる。これは、緩いしらすが角張った粒子の弱い初期構造有しているのに対し、拘束圧の増加に伴い接触点を増し、より安定した構造へと移行したためと思われる。一方、(b)の細粒分を取り除いたしらすは、繰返し回数が8回以上では拘束圧の増加に伴い、繰返しせん断強度も増加していることが、繰返し回数が8回以下では、 $\sigma'_c=300\text{kPa}$ において強度が $\sigma'_c=50,100\text{kPa}$ よりも減少に転じている。また、 $\sigma'_c=300\text{kPa}$ の強度曲線は勾配の緩い曲線となっている。これは、 $\sigma'_c=300\text{kPa}$ になると粒子の接触部の破砕が生じ始め、より粘りのある構造に移行したためと推察される。

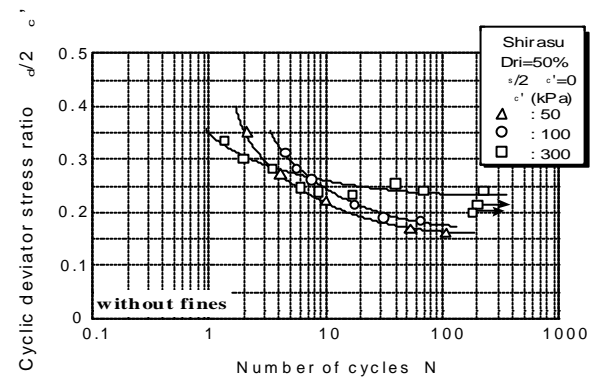
4. まとめ

細粒分を取り除くことによりしらすは剛性が高くなり、有効応力はゼロにならずに徐々にせん断ひずみが発達していく挙動を示した。このように、細粒分の有無による繰返しせん断挙動は明らかに異なったものとなった。また、しらすの液状化強度曲線についても細粒分の有無により、拘束圧の増加に伴い強度曲線の形状が変化した。細粒分を取り除くことにより液状化強度は全体的に増加する事が明らかとなった。以上より、しらすにおける細粒分は、繰返しせん断特性に大きな影響を与えていることが判明した。

【参考文献】1)岡林巧他：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/ -37, pp.197-209,1996



(a) しらす (原粒径)



(b) しらす (細粒分カット)

図 - 5 液状化強度曲線