

# 拘束圧の異なる締固めたしらすの 非排水繰返しせん断特性

荒牧 憲隆<sup>1</sup>・岡林 巧<sup>2</sup>・兵動 正幸<sup>3</sup>

<sup>1</sup> 崇城大学准教授 工学部エコデザイン学科 (〒860-0082 熊本市池田4-22-1)

E-mail: aramaki@eco.sojo-u.ac.jp

<sup>2</sup> 鹿児島工業高等専門学校教授 土木工学科 (〒899-5193 鹿児島県霧島市隼人町真孝1460-1)

E-mail: okabaya@kagoshima-ct.ac.jp

<sup>3</sup> 山口大学大学院教授 理工学研究科 (〒755-8611 山口県宇部市常盤台2-16-1)

E-mail: hyodo@yamaguchi-u.ac.jp

脆弱な粒子から構成されるしらす等の埋立て地盤の力学特性を明らかにするために、礫分含有量の異なるしらすを用いて、一次元圧縮特性を調べると共に、密度、拘束圧に着目したしらすの非排水繰返しせん断特性について実験的に検討した。さらに、締固め作用が非排水繰返しせん断特性に及ぼす影響についても検討し、従来の方法で規定される相対密度での液状化強度特性との比較検討を行った。その結果、緩詰めしらすの繰返しせん断強度比は、粒度、拘束圧にさほど依存しないことが分かった。また、密詰めしらすおよび締固めたしらすの繰返しせん断強度比は、拘束圧の増加に対し減少することが示された。さらに、しらすの繰返しせん断強度比に及ぼす締固めによる改良効果は、粒度、拘束圧に依存することが認められた。

**Key Words :** *Shitasu, undrained cyclic shear, compaction, confining pressure, particle size distribution.*

## 1. はじめに

南九州に広く分布するしらすは、火砕流堆積物の非溶結部として定義されており、現在の鹿児島湾奥に当たる始良カルデラや、霧島北部の加久藤カルデラから噴出されたものである。このしらすは、厚い台地を形成していることから、豪雨による斜面崩壊を引き起こしている反面、ウォーターフロントを初めとする海洋開発等が行われる場合には、粒度分布も広範で締固め特性も良いことから、埋立材や裏込め材として活用されている<sup>1)</sup>。地下水位が低いしらす台地において、液状化は特に問題にならないが、沖積低地やしらす台地の谷部などの地下水位が高い地盤では、地震時の液状化の可能性を考慮しなければならない<sup>2)</sup>。このしらすの液状化被害について、古くは内田<sup>3)</sup>により1914年の桜島大噴火により鹿児島市内での液状化現象が見られたと報告され、1968年のえびの地震においても噴砂現象<sup>4)</sup>が確認されている。また、1997年鹿児島県北西部地震においても、埋立てられたしらす地盤の液状化により港湾構造物や宅地等に被害を与えた<sup>5)</sup>。

このような火砕流堆積物の非溶結部である火山灰質粗粒土は、九州のみならず、東北地方の十和田湖周辺や北海道をはじめ各地方のカルデラ周辺に見られ、しらすと良く似たものがあるとしている<sup>7)</sup>。特に、北海道ではここ数年頻発している地震により、火山灰質粗粒土の液状化による土構造物の被害について報告<sup>8,9,10)</sup>されており、その地盤工学的特性は、しらすと同様に、通常の砂質土とは異なる点が指摘されている<sup>11,12)</sup>。1995年兵庫県南部地震においても、しらすと同じく破砕性材料であるまさ土により埋立てられたポートアイランド・六甲アイランドの人工島を初め多くの埋立て地盤が液状化をきたし、護岸構造物など港湾施設に壊滅的被害を与えた。都市近郊には埋立て地が多く、しらすなどの破砕性の粒子からなる土により埋立てられている場合も多く、今後の地震により同様な被害が考えられる。このような状況において、今後予想される都市部の地震に対して、このような火山灰質土のしらすに代表される破砕性土の液状化特性を調べていくことは重要であると考えられる。

そこで、本研究では、脆弱な粒子から構成されるしらすによる埋立て地盤の力学特性を明らかにするために、

表-1 粒度調整したしらすの物理的性質および実験条件

No.	粒度構成			最小密度 $\rho_{\min}$ (Mg/m <sup>3</sup> )	最大密度 $\rho_{\max}$ (Mg/m <sup>3</sup> )	最大締固め 密度 $\rho_c$ (Mg/m <sup>3</sup> )	平均粒径 D <sub>50</sub> (mm)	拘束圧 $\sigma'_c$ (kPa)
	礫分 (G.C.) (%)	砂分 (S.C.) (%)	細粒分 (F.C.) (%)					
1 (礫質しらす)	50	40	10	1.035	1.297	1.498	2	50
2 (礫混じり砂質しらす)	30	60	10	1.106	1.417	1.528	0.68	100 300
3 (砂質しらす)	10	80	10	1.125	1.471	1.553	0.38	500

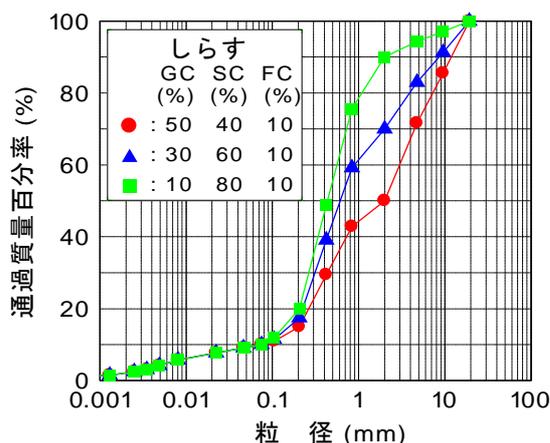


図-1 しらすの粒度分布

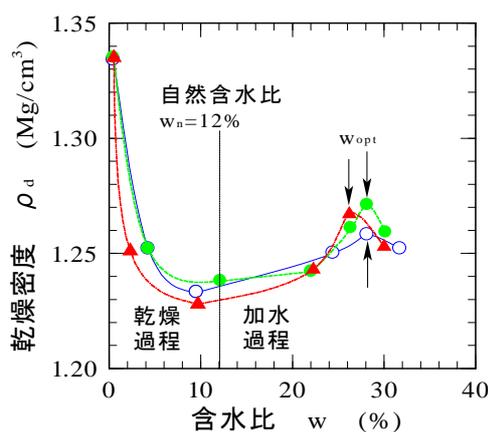


図-2 しらすの締固め特性 (春山ら<sup>12)</sup>)

礫分含有量の異なるしらすを用いて、一次元圧縮特性を調べると共に、密度、拘束圧に着目したしらすの非排水繰返しせん断特性について実験的に検討していく。さらに、締固め作用が非排水繰返しせん断特性に及ぼす影響についても検討し、従来の方法で規定される相対密度での液状化強度特性と比較検討するものである。

## 2. 試料および実験方法

本研究で用いたしらすは、鹿児島県霧島市の一次しらすの地山より掘削して採取した攪乱試料である。この地山は、土取り場として運用されており、採取したしらすは、通常、盛土材料や埋戻し材等として用いられている。採取したしらすを、礫分、砂分、細粒分に分け、表-1に示すように細粒分を10%にし、礫分を最小で10%、最大で50%になるよう粒度調整し、実験を行っている。礫分、砂分については、水洗いにより、粒子に付着している細粒分を落としている。表-1には、3シリーズに粒度調整したしらすの一覧を示し、かつそれらの物理的性質についても示している。以後、本報告では、粒度調整の結果をもとに、便宜的に No.1 を“礫質しらす”、No.2 を“礫混じり砂質しらす”、No.3 を“砂質しらす”と呼称す

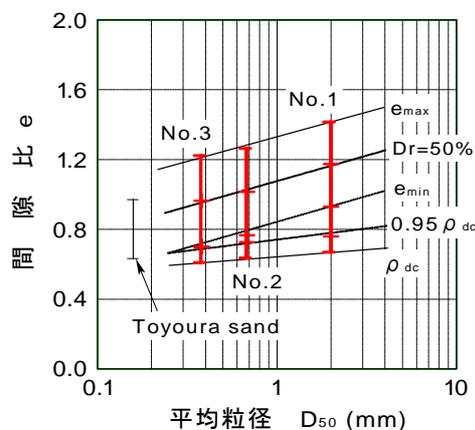


図-3 間隙比と平均粒径の関係

る。しらすの土粒子密度は、2mm以下を対象に、 $\rho_s = 2.409 \text{ Mg/m}^3$ であった。また、細粒分は非塑性であった。これらのしらすの粒径加積曲線を図-1に示す。

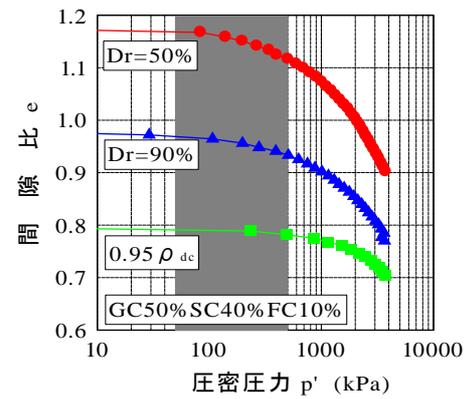
それぞれのしらすの最大、最小密度の測定は、砂の最小密度・最大密度試験方法 (JIS A 1224)<sup>13)</sup>の解説をもとに、直径10cm、高さ12.7cmのモールド (1000cm<sup>3</sup>) を用いて求めている。しらすの最大、最小密度ともに豊浦砂などに比べ小さな値を示すことが特徴的である。しかし、しらすのような火山灰質粗粒土やまさ土のような材料は、圧縮性に富み、締固め特性も良いことから、通常、盛土

や埋立ての施工において、締固めが行われ、その時の密度をもとに品質管理されることが多い。また、この時の密度の値は、上述した最大密度試験の結果に比べ、大きくなるのがほとんどである。さらに、春山ら<sup>12)</sup>によれば、しらすの締固め特性において、図-2に概念図を描いたように、自然含水比より湿潤側で得られる最大乾燥密度 $\rho_{dmax}$ での含水比を最適含水比 $w_{opt}$ と表現しているが、空気乾燥による含水比 $w=0\%$ 付近で、最大の乾燥密度が得られると報告している。そこで、本研究では、現行の土質試験において最大の締固めエネルギーとなる突固め方法E法<sup>11)</sup>により、乾燥試料を締固めたときの密度についても求め、これを基準とした。すなわち、質量4.5kgランマーで高さ45cmから1層につき92回落下させ、のべ3層に分け作成する。この締固め時の最大乾燥密度 $\rho_{dc}$ を求め、その結果も表-1に併せて示している。

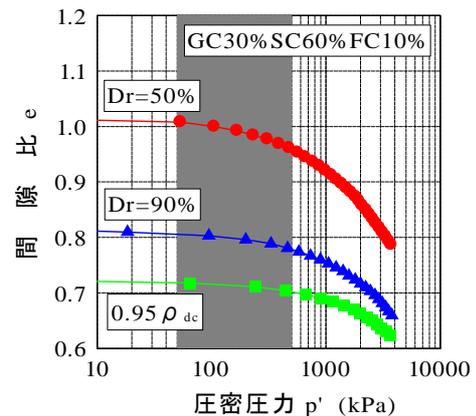
それぞれの粒度調整したしらすの取り得る間隙比の範囲と平均粒径 $D_{50}$ との関係を図-3にまとめた。比較のため、豊浦砂の結果も併せて示した。何れのしらすにおいても、間隙比が取り得る範囲は、豊浦砂に比べて大きいことが分かる。また、平均粒径が大きいほど最大・最小間隙比が大きくなるのが特徴的である。さらに、平均粒径が大きいほど、締固めによる間隙比は、最大密度試験によって得られる間隙比 $e_{min}$ からの低下傾向が著しいことが分かる。これは、礫分が多いほど、緩い初期構造ができると考えられ、締固めにより、粒子の相互移動のみならず、脆弱な材料であるしらす粒子の破砕による影響もあったと考えられる。

繰返し三軸試験では、これらの粒度調整したしらすについて、初期の相対密度 $D_r=50, 90\%$ および締固めによって得られた乾燥密度の0.95倍を目標に供試体を作成している。なお、相対密度は、締固めによる諸特性の影響を明確にするために、通常と同様に、最小・最大密度試験結果より得られる間隙比をもとに算定されたもので表記していく。

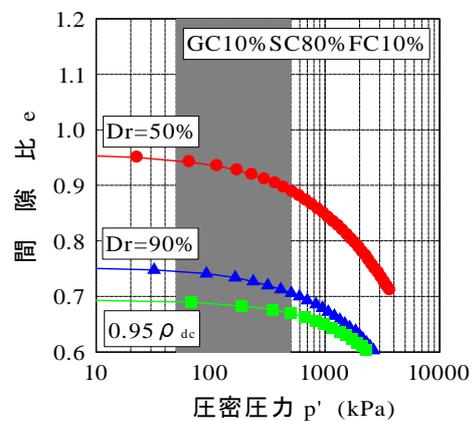
緩詰め供試体 ( $D_r=50\%$ ) 作成方法は、最大密度試験方法をもとに、漏斗を用いて、乾燥した試料をできるだけ低い位置からモールド (直径75mm×高さ150mm) 内に充填していく。密詰め供試体 ( $D_r=90\%$ ) は、10層がなるべく均等厚になるように1層分の試料をモールドにスコップにより一定の高さから充填し、1層ごとにモールド側壁を打撃し作成する。締固めしらすについては、先に示した突き固め方法により、締固めエネルギーをモールド体積に合わせ、落下回数を調整した上で、 $0.95\rho_{dc}$ となるように作成した。その後、何れの供試体についても、脱気水の中にモールドを浸し、供試体下部より透水させる。供試体が浸潤した後に、10分程度、空气中に放置し、不飽和状態で凍結を行う。3時間以上凍結した後



(a) 礫質しらす



(b) 礫混じり砂質しらす



(c) 砂質しらす

図-4 一次元圧縮特性

に、一旦モールドを外し、メンブレンペネトレーションを軽減させるため、供試体側面にしらすの0.475mm粒子を塗布し再凍結した。凍結供試体を、三軸セルにセットし、2時間以上解凍した後、二重負圧法を採用し通水を行った。B値が0.96以上であることを確認し、繰返し三軸試験を行っている。拘束圧は $\sigma'_c = 50, 100, 300, 500\text{kPa}$ とし、それぞれ等方圧密後、周波数0.1Hzで荷重制

御による正弦波载荷を行っている。

### 3. 一次元圧縮特性

一次元圧縮試験は、直径10cm、高さ12.7cmのモールド ( $V=1000\text{cm}^3$ ) で、所定の相対密度あるいは締固め密度を目標に供試体を作成し、乾燥状態で、载荷速度  $1.0\text{mm/min}$  の定ひずみで鉛直荷重を漸増させることによって行った。なお、側面摩擦低減のため、モールド側面には、シリコングリースを塗布している。

図-4(a)～(c)は、表-1に示したそれぞれの粒度におけるしらすの一次元圧縮試験結果の結果を間隙比 $e$ と圧密圧力 $p'$ との関係で示したものである。なお、圧密圧力は次式によって定義している。

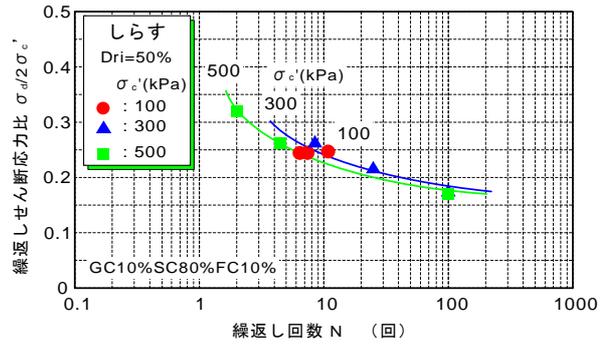
$$p' = (\sigma_v' + 2\sigma_h') / 3 \quad (1)$$

$\sigma_v'$ 、 $\sigma_h'$ は、鉛直および水平方向の有効応力である。また、水平応力 $\sigma_h'$ は、Jakyの式<sup>15)</sup>から、 $K_0=0.5$  ( $=1-\sin\phi$ ) と仮定し、 $\sigma_h'=0.5\sigma_v'$ として求めた。すなわち、圧密圧力は $p'$ は、

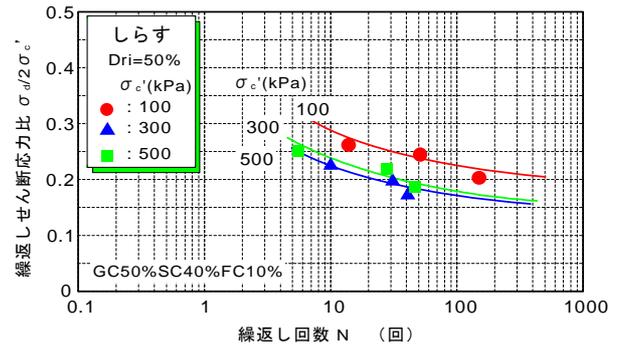
$$p' = 2\sigma_v' / 3 \quad (2)$$

として、表している。また、図中には、本研究で非排水繰返しせん断試験を行った際に適用した拘束圧の範囲も併せて示している。各粒度のしらすに対する試験は、繰返しせん断試験の初期密度と同じ初期条件で行ったものである。

図-4(a)の礫質しらすの結果から、初期間隙比の大きいものほど、本研究で適用した低い圧密応力から間隙比の減少が見られる。また、相対密度50%では、砂のような明確な降伏点は示さず、破碎性材料で特徴的な圧密圧力の増加に伴い、曲率が徐々に変化している様子が窺える<sup>16),17)</sup>。一方、締固めた礫質しらすでは、砂の一次元圧縮挙動と同様<sup>16),17)</sup>に、1000kPa付近まで、間隙比の変化はほとんどなく、2000kPa付近で降伏し、その後、顕著な間隙比の減少が見られる。相対密度90%では、両者の圧縮特性の中間的な挙動を示している様子が窺える。この傾向は、図-4(b)の礫混じり砂質しらすおよび図-4(c)の砂質しらすについても同様であった。これらは、相対密度50%での一次元圧縮挙動が、圧密圧力の増加に伴い、粒子の移動による構造の変化と粒子の破碎に起因した構造の変化による複合的な間隙比の変化であるのに対し、



(a) 砂質しらす



(b) 礫質しらす

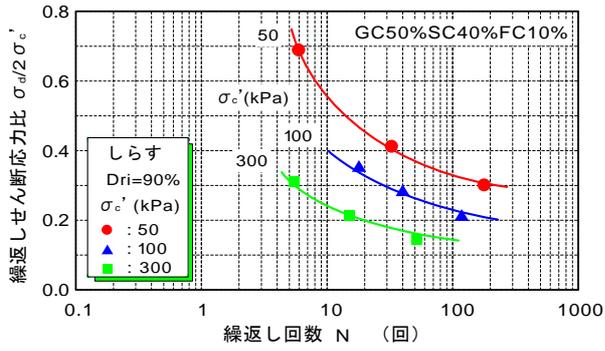
図-5 液状化強度曲線 (相対密度  $D_{ri}=50\%$ )

締固めた供試体では、粒子の破碎に起因した間隙比の変化が支配的であるためと考えられる。また、図-4(c)の相対密度90%と最大締固め密度の95%に締固めた砂質しらすにおいて、降伏点付近と考えられる2000kPa以上の高い応力域での圧縮曲線は重なり、一定の傾きとなる傾向を示している。Nakata et al<sup>16)</sup>、加登ら<sup>17)</sup>が、砂の一次元圧縮特性で同様な傾向を示したように、他の粒度調整をしたしらすにおいても、初期間隙比によらず、高压密応力域での圧縮曲線は一定の傾きを示すと考えられる。

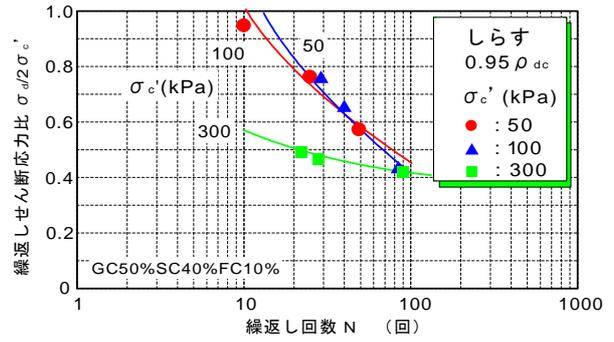
### 3. 非排水繰返しせん断特性

#### (1) 代表的な液状化強度曲線

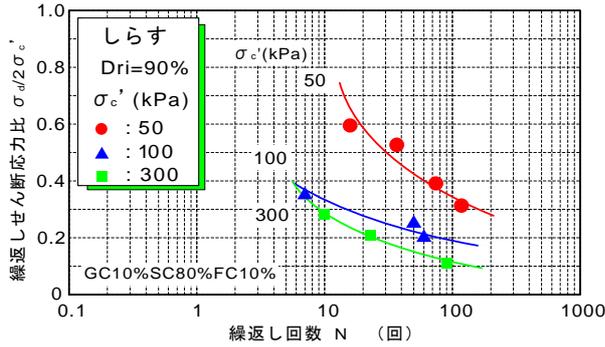
軸ひずみ両振幅  $DA=5\%$  の発生を液状化による破壊と定義し、図-5(a)、(b)に、拘束圧が異なる相対密度50%のしらすの代表的な繰返しせん断応力比  $\sigma_d/2\sigma'_c$  と繰返し回数  $N$  の関係を示している。図-5(a)から、砂質しらすの液状化強度曲線は、ほぼ同じ位置にあり、一般的な砂質土の液状化強度特性と同様<sup>18)</sup>に、拘束圧の影響が認められないことが分かる。この傾向は、礫混じり砂質しらすの液状化強度曲線においても確認された。しかし、



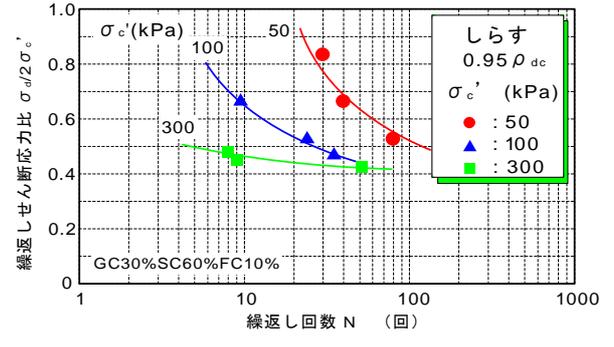
(a) 礫質しらす



(a) 礫質しらす



(b) 砂質しらす



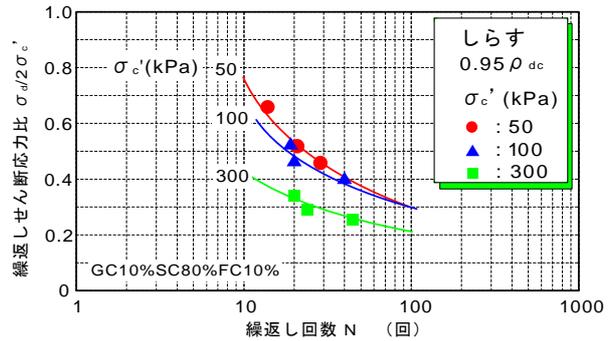
(b) 礫混じり砂質しらす

図-6 液状化強度曲線 (相対密度 Dri=90%)

図-5(b)の礫質しらすでは、拘束圧の増加により、液状化強度曲線は下がって位置しており、密詰めの破砕性土<sup>19)</sup>や高拘束圧下での砂質土の液状化強度特性<sup>20)</sup>に類似している。緩詰めであっても、礫分を含むしらすでは、図-4(a)の一次元圧縮特性からも認められるように拘束圧の増加に伴って高密度とはなるが、その効果による液状化強度の増加よりも、強度低下を引き起こすせん断中の粒子破砕の影響が大きいと考えられる<sup>20)</sup>。

図-6(a), (b)には、拘束圧が異なる相対密度90%のしらすの液状化強度曲線を示している。いずれの粒度においても、相対密度90%のしらすは、拘束圧の増加とともに、液状化強度曲線が著しく下がっていることが分かる。この拘束圧の影響による強度低下は、破砕性砂質土の液状化特性と同様<sup>19)</sup>に、粒子破砕の影響により引き起こされたと考えられる。

図-7(a)～(c)には、最大締固め密度の95%に締固めたしらすの繰返しせん断応力比 $\sigma'_{d/2\sigma'_c}$ と繰返し回数Nの関係を掲げた。図-7(a)での礫質しらすの結果から、拘束圧 $\sigma'_c=50, 100\text{kPa}$ において、液状化強度曲線にほとんど差のない様子が窺える。しかし、拘束圧300kPaでは、比較的繰返しせん断応力比は大きいものの、緩詰め砂質土の緩やかな強度曲線形状<sup>18)</sup>に類似しており、液状化強度曲線も下方へ位置していることが分かる。図-7(b)の



(c) 砂質しらす

図-7 液状化強度曲線 (0.95 ρ\_{dc})

礫混じり砂質しらすの液状化曲線においては、拘束圧の増加とともに、非排水繰返しせん断応力比が漸次低下していることが認められる。図-7(c)の最大締固め密度の95%に締固めた砂質しらすでは、礫混じりしらすと同様に、50kPaから100kPaの拘束圧の増加に伴い、強度曲線は若干下方へと移動しているが、300kPaでは、著しい強度低下が認められた。

## (2) 非排水繰返しせん断強度比に及ぼす拘束圧の影響

地震時における砂の液状化強度は、一般的に繰返し三軸試験より得られる繰返し回数N=20回における所定の

ひずみ振幅を生じるのに必要な応力比により規定されている。本研究においては、繰返しせん断によるしらすの破壊軸ひずみ両振幅 $DA=5\%$ に至った時点と定義し、繰返し回数 $N=20$ 回のときの繰返し応力比をもって繰返しせん断強度比 $(\sigma_d/2\sigma'_c)_{20}$ と定義した。図-8には、相対密度 $D_{ri}=50\%$ におけるしらすの繰返しせん断強度比と初期拘束圧の関係を示している。礫混じり砂質しらすおよび砂質しらすでは、一般的な砂質土と同様<sup>18)</sup>に、拘束圧の増加に伴う強度比への影響は認められず、ほぼ一定値を示す。しかし、礫質しらすでは、密詰めで破砕が卓越する地盤材料と同様<sup>19)</sup>に、拘束圧の増加に伴って、繰返しせん断強度比は低下する傾向が窺える。このような相対密度 $D_{ri}=50\%$ のしらすにおける拘束圧依存性の違いは、安定化傾向となる構造変化と不安定化傾向となる粒子破砕の影響があったと考えられる。すなわち、礫分含有量が30%以下の場合、拘束圧の増加に伴い、粗粒子間に存在する細粒分のマトリックス構造も初期状態より密となり、これにより粗粒子間同士の接触間隔が近づいたことによるインターロッキング効果が発揮され強度比が増加すると考えられるが、拘束圧の増加に伴う、圧密時、その後のせん断時の粗粒子の粒子破砕によるダメージに相殺され、一定であったと考えられる。これは、礫分を除いた火山灰質粗粒土では、拘束圧の増加に伴い、繰返しせん断強度比が増加することからも窺える<sup>19)</sup>。礫分が50%となると、マトリックス構造で粗粒子がせん断挙動において支配的となり、拘束圧の増加に伴い、粒子破砕により繰返しせん断強度比が低下したものと思われる。

次に、図-9には、相対密度 $D_{ri}=90\%$ における繰返しせん断強度比と初期拘束圧の関係を描いた。いずれの粒度においても拘束圧50~300kPaで急激な強度比の低下を引き起こしている。また、相対密度 $D_{ri}=50\%$ に比べて相対密度 $D_{ri}=90\%$ の方が、拘束圧の増加に伴う、非排水繰返しせん断強度比の低下を引き起こしやすいことが分かる。このような粒度分布に依存しない密詰めしらすでの拘束圧の増加に伴う繰返しせん断強度比の低下傾向は、細粒分も初期から密に締まっており粗粒子同士の接触も多く、粒子破砕の影響が支配的であったと考えられる。

図-10には、最大締固め密度の95%に締固めたしらすの繰返しせん断強度比と初期拘束圧の関係を描いた。礫質しらすでは、拘束圧100kPaまで強度はほとんど変化しないが、拘束圧が300kPaでは、繰返しせん断応力比が著しく低下していることが分かる。しかし、締固めにより、繰返しせん断応力比の値は、大きいものとなっている。一方、礫混じりしらすおよび砂質しらすについては、拘束圧の増加に伴い、繰返しせん断強度比が低下していくことが分かる。また、図-8、9において、拘束圧300kPa以上となると、粒度の違いによる繰返しせん断強度比へ

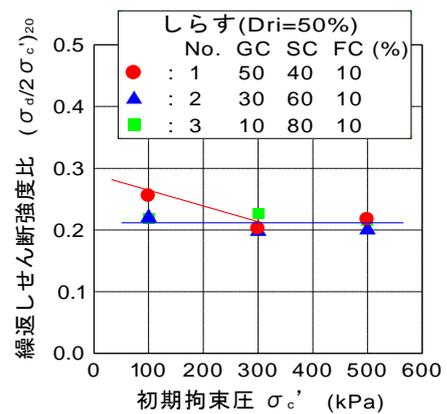


図-8 繰返しせん断強度比と初期拘束圧の関係 (Dri=50%)

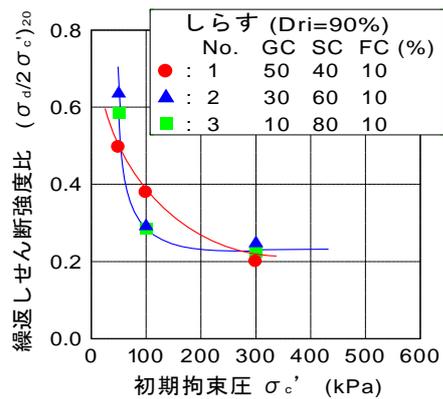


図-9 繰返しせん断強度比と初期拘束圧の関係 (Dri=90%)

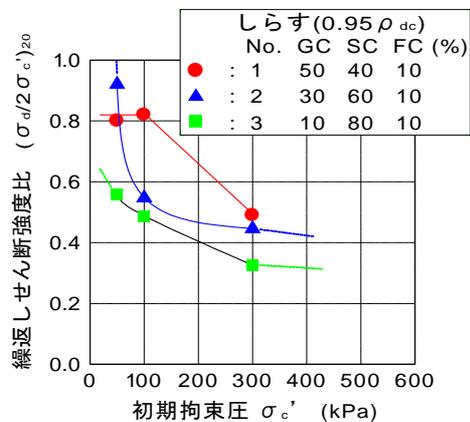


図-10 繰返しせん断強度比と初期拘束圧の関係 (0.95 rho\_dc)

の影響は認められないが、最大締固め密度の95%に締固めたしらすでは、いずれの拘束圧においても、繰返しせん断強度比に粒度の依存性が認められる。

### (3) 非排水繰返しせん断強度比に及ぼす締固めの影響

図-11~13には、各粒度における締固めの効果を明らかにするために、繰返しせん断強度比 $(\sigma_d/2\sigma'_c)_{20}$ と乾燥密度との関係を示した。図-11の拘束圧 $\sigma'_c=50$ kPaでは、

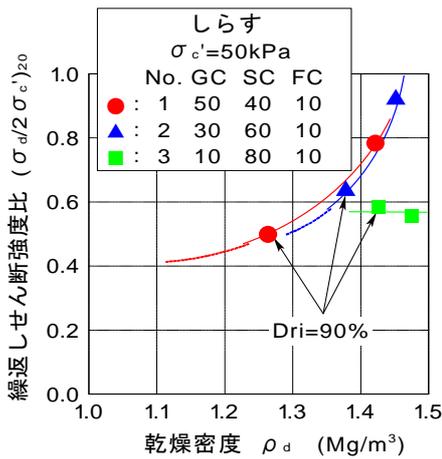


図-11 繰返しせん断強度比に及ぼす締固めの影響( $\sigma_c' = 50 \text{ kPa}$ )

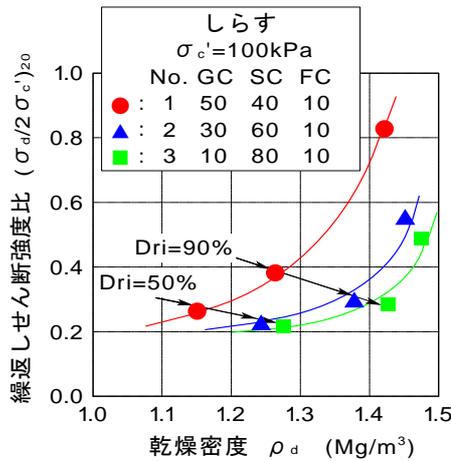


図-12 繰返しせん断強度比に及ぼす締固めの影響( $\sigma_c' = 100 \text{ kPa}$ )

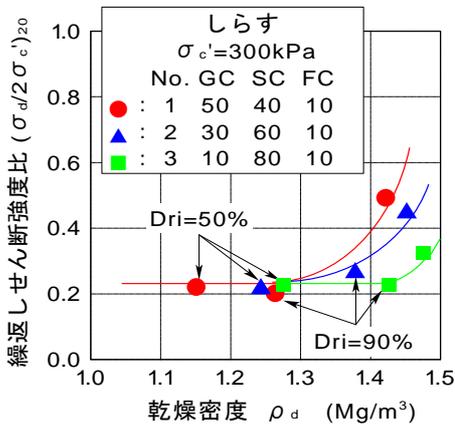


図-13 繰返しせん断強度比に及ぼす締固めの影響( $\sigma_c' = 300 \text{ kPa}$ )

礫質しらすおよび礫混じりしらすにおいて、締固めによる密度増加に伴い、繰返しせん断強度比も著しく増加していることが分かる。また、砂質しらすでは、締固めによって密度は増加するものの、相対密度Dri=90%時との繰返しせん断強度比に差は認められない。しかし、繰返

しせん断強度比の値は0.6程度と大きく、この低拘束圧域において、締固めの有無による粒子構造の有意差はないものと考えられる。図-12の拘束圧 $\sigma_c' = 100 \text{ kPa}$ においては、何れの粒度においても、乾燥密度の増加と共に、繰返しせん断強度比が増加していることが分かる。しかし、図-13の拘束圧 $\sigma_c' = 300 \text{ kPa}$ においては、相対密度Dri=50、90%の繰返しせん断強度比に差はほとんどなく、締固めによる強度比の増加傾向は認められるものの、図-11、12で示した拘束圧 $\sigma_c' = 50, 100 \text{ kPa}$ の場合ほど顕著ではない。特に、砂質しらすの繰返しせん断強度比において、締固めによる改良効果はあまり期待できない。これは、砂質しらすにおいて、図-4の一次元圧縮特性でも示したように、締固めにより初期状態での粒子構造は安定するものの、他の粒度に比べ、降伏点が低い応力で認められることから、せん断時の破碎により粒子構造が乱され、このような傾向を示したものと思われる。このことから、しらすなどの脆弱な火山灰質粗粒土での埋立て地盤において、耐震対策に締固め工法を用いる場合、粒度、拘束圧に留意する必要があることが示唆される結果となった。すなわち、現場密度管理のための締固め特性を把握すると共に、耐震性能評価において原位置の有効上載圧を的確に評価した上で有効拘束圧を定め、繰返し三軸試験などの室内試験の実施が必要となると考えられる。

#### 4. まとめ

本研究では、脆弱な粒子から構成される火山灰質粗粒土のしらすを用いて、拘束圧の異なる締固めたしらすの繰返しせん断特性についてを実験的に検討した。得られた結果を要約すると、以下の通りである。

- (1) 一次元圧縮特性において、いずれの粒度のしらすにおいても、相対密度50%では、圧縮曲線の曲率が徐々に変化し、間隙比が低下した。一方、最大締固め密度の95%に締固めたしらすでは、砂の一次元圧縮挙動と同様に、降伏点を示し、その後、顕著な間隙比の低下が確認された。また、降伏する応力は、礫分の増加に伴い、増加した。
- (2) 相対密度50%のしらすの液状化強度特性において、粒度の違いにより、拘束圧依存性が異なることが確認された。
- (3) 相対密度90%のしらすの液状化強度特性では、いずれの粒度においても、拘束圧の増加に伴い、液状化強度は低下することが認められた。
- (4) 礫分の増加に伴い、締固めの効果により、しらすの液状化強度は顕著な増加傾向を示す。しかし、拘束圧の増加に伴い、粒度によっては、締固めによる顕

著な改良効果は期待できない。

- (5) 本研究の結果から、締固めによるしらすの液化化抵抗の改善には、粒度調整を行う必要があると考えられる。しかし、本研究では、礫分、砂分の粗粒分を中心に調整した結果であるため、今後、細粒分および拘束圧の影響も踏まえたしらすの締固めによる改良効果の確認を行い、しらすのような火山灰質粗粒土に関する合理的な締固め施工方法について検討する予定である。

## 参考文献

- 1)地盤工学会九州支部編：九州・沖縄の特殊土地盤の設計と施工，1995
- 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-28, pp.97-106, 1994
- 3)門前亨，永瀬英生，廣岡明彦，高岡伸光，田端尚子：細粒分含有砂の液化化強度特性に与える締固め効果，第12回日本地震工学シンポジウム論文集(CD-ROM)，pp.458-461，2006.
- 4)内田祥三：大正3年鹿児島地震に於ける建築物被害調査報告，震災予防調査報告，No.80，pp.1-31，1915.
- 5)土質工学会（現 地盤工学会）シラス研究委員会：えびの地震と地盤被害，土と基礎，pp.47-59，1968.
- 6)秋吉卓，淵田邦彦，松本英敏，尻無濱昭三：鹿児島県北西部地震における液化化被害について，第16回日本自然災害学会学術講演会講演概要集，pp.53-54，1997.
- 7)山内豊聡編著：日本の特殊土，地盤工学会，pp.204，1974.
- 8)地盤工学会編：1993年釧路沖地震・能登半島沖地震災害調査報告書，地盤工学会，1994.
- 9)地盤工学会編：1993年北海道南西沖地震災害調査報告書，1995.
- 10)地盤工学会編：2003年十勝沖地震地盤災害調査報告書，2004.
- 11)三浦清一，八木一善，川村志麻：北海道火山性粗粒土の静的および動的力学挙動と粒子破碎．土木学会論文集，No.547/III-36，pp.159-170，1996.
- 12) Miura, S., Yagi, K. and Asonuma, T.: : Deformation-strength evaluation of crushable volcanic soils by laboratory and in-situ testing, *Soils and Foundations*, Vol.43, No.4, pp. 47-57, 2003
- 13)地盤工学会編：土質試験の方法と解説，2000.
- 14)春山元寿，城本一義，大山昇：しらすの締固め特性，第19回土質工学研究発表会講演集，pp.1455-1456，1984.
- 15)Jaky, J.: The coefficient of earth pressure at rest, *Mgyer Memokes Epiysz Egylet Kozlonye*, Budapest, No.22, in Hungarian, pp.355-358, 1944.
- 16)Nakata, Y., Kato, Y., Hyodo M., Hyde, A. L. & Murata, H.: One-dimensional compression behaviour of uniformly graded sand related to single particle crushing strength. *Soils and Foundations*, 41, No. 2, 39-51, 2001.
- 17)加登文学，中田幸男，兵動正幸，村田秀一：破碎性材料の粒子特性と一次元圧縮特性，土木学会論文集，No. 701/III-58, 343-355，2002.
- 18)石原研而，菊池喜昭，堤康一：低拘束圧下における砂の繰返し変形挙動，第18回土質工学研究発表会，pp.353-354, 1983.
- 19)Hyodo, M., A.F.L. Hyde and Aramaki, N.: Liquefaction of crushable soils, *Geotechnique*, 48, No.3, 1-17., 1998.
- 20) Hyodo M., Aramaki N., Nakata Y. and A.F.L. Hyde : Undrained monotonic and cyclic shear behaviour of sand under low and high confining stresses, *Soils and Foundation*, Vol.42, No.3, 63-76, 2002.

(2007.4.6 受付)

## EFFECTS OF DIFFERENT CONFINING PRESSURE ON UNDRAINED CYCLIC SHEAR CHARACTERISTICS OF COMPACTED VOLCANIC SOIL, "SHIRASU"

Noritaka ARAMAKI, Takumi OKABAYASHI and Masayuki HYODO

A series of undrained cyclic shear tests was performed on compacted samples of Shirasu to assess the influence of grain size distribution and confining pressure on the liquefaction susceptibility. For loose samples of Shirasu, different kinds of cyclic strength characteristics were defined in this study. For the cyclic shear strength of sandy soil with gravel is independent of initial confining pressure. On the other hand, for gravely Shirasu the cyclic shear strength decreases significantly with increasing confining pressure. For all dense and compacted samples, the cyclic shear strength decreases remarkably with increasing confining pressure. However, it was recognized that decrease tendency of cyclic shear strength for Shirasu due to compaction depended on grain size distributions.