

九州大学工学部 正員 山内 豊聡
 東海大学工学部 〃 兵動 正幸
 九州大学工学部 学生員 坂井 晃
 〃 〃 佐々木 伸也

1. まえがき

乱した一次しらすは、一般の砂質土に比べ液状化を起こしやすいことが確認されている。ところが、一次しらすはレキ分・砂分・シルト分と広範囲にまたがる粒度分布を示し、シルトに相当するガラス質の細粒分が多いことが特徴的である。液状化強さは、粒度分布や粒子形状などによって大きな影響を受けることから、一次しらすについても、細粒分含有率・均等係数・平均粒径の相違によって種々の影響が表われるものと考えられる。一方砂の液状化強さはその静的圧縮特性と関連のあることが見出されている¹⁾。本研究は、一次しらすに含まれる粒度成分を調整して種々の試料を作成し、それぞれの物性ならびに静的変形強度特性を調べ、一次しらすの液状化に寄与する要因を得ようとするものである。

2. 試料および実験方法

人工試料の作成に際しては、 $2000\mu\text{m}$ 以下の粒径を20段階にふるい分け、所定の粒度分布になるように調整した。試料は以下に示す通りである。1) 細粒分含有率F.C.の変化: 細粒分($74\mu\text{m}$ 以下)/100%, 70%, 50%, 20%, 0%の5種類 2) 均等係数の変化: $U_c=1.24, 5.0, 14.6$ ($D_{50}=0.25\text{mm}=\text{const.}$)の3種類 3) 平均粒径の変化: $D_{50}=0.105\text{mm}, 0.42\text{mm}$ ($U_c=2.0$)の2種類。各試料の物理的性質を表-1に示す。図-1は、圧縮性の目安となる e_{max} ・ e_{min} を平均粒径

試料	G_s	e_{max}	e_{min}	試料	G_s	e_{max}	e_{min}
細粒分含有率 (%)							
100	2.40	2.106	0.893	$U_c=1.24$	2.42	2.037	1.276
70	2.40	1.716	0.749	$U_c=5.0$	2.40	1.541	0.784
50	2.40	1.483	0.678	$D_{50}=0.105\text{mm}$	2.40	1.842	0.869
20	2.41	1.413	0.614	$D_{50}=0.42\text{mm}$	2.45	1.811	1.124
0	2.42	1.550	0.849				

表-1

について見たものである。平均粒径が大きくなるにつれて e_{max} ・ e_{min} は減少する傾向にある。実験は、従来の三軸試験機(側圧室、軸圧変動)を用い、ひずみ制御で行った。供試体は、含水比10%で5層に突き固め、すべての試料が $D_r=55\%$ になるようにした。試験方法は圧密排水試験で行い、拘束圧は $\sigma_0=1, 2, 3\text{ kg/cm}^2$ とした。また、無調整の試料(細粒分20%, $U_c=14.6$)については数種類の相対密度に対して実験を行った。

3. 実験結果と考察

3. 1. 破壊強度の比較

図-2は、各試料の破壊強度($\sigma_1-\sigma_3$)_fをプロットしたものである。細粒分含有率で見ると細粒分20%のものがわずかに強い破壊強度を示しているが、全体的にはほとんど差異は認められない。また、均等係数 U_c が小さくなると低い強度を示す傾向がうかがえる。平均粒径 D_{50} においては、 $D_{50}=0.42\text{mm}$ より平均粒径の小さい $D_{50}=0.105\text{mm}$ の方に大きい破壊強度をみることができ。

3. 2. 圧縮係数 m_s による変形強度特性の把握

静的圧縮性は、動的な非排水試験

における間ゲキ水圧上昇に対応するといわれている。ここでは、その圧縮性の目安として梅原らの採用した圧縮側体積ひずみのピーク値($\% \epsilon_p$)とそのときの主応力差($\sigma_1-\sigma_3$)_pとの比である圧縮係数 m_s を求め、図-3に示した。梅原らは、この m_s が拘束圧の増大とともに減少し、さらに拘束圧 σ_0 を考慮した m_{s0} の表示によって液状化強さと一義的な関係にあるとしている。しかしながら、図-3から m_s の値が拘束圧の増大とともに減少するとはかぎらず、 m_{s0} を求めても拘束圧を考慮できるような一定の値を示さないことが確かめられた。このことは、しらすの大きな圧縮性

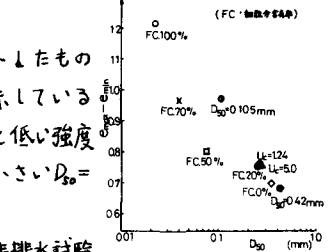


図-1

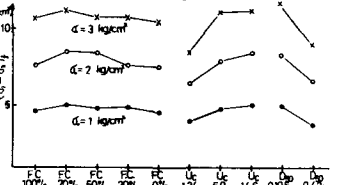


図-2

によって、拘束圧の違いによる $(\%)_p$ の変化が大きいことによると考えられる。

3. 3. 圧縮強度特性の硬化関数 h による表示

3. 3. 1. 応力-ひずみ関係式

軸対称の供試体を考えるとき応力増分によるエネルギー増分 dE は、 $dE = \sigma_1 d\epsilon_1 + 2\sigma_3 d\epsilon_3 = \rho d\gamma + p dv = dW + dU = M p d\gamma + p dv \dots \textcircled{1}$

ここに、 $\rho = \sigma_1 - \sigma_3$, $p = \frac{1}{3}(\sigma_1 + 2\sigma_3)$, dW : 消散エネルギー, dU : 回復エネルギー。ここで、ダイレイタンスによるひずみ成分はほぼ塑性ひずみ成分に等しいと見なし、 $dv = dv^p$, $d\gamma = d\gamma^p$

とすると、 $\textcircled{1}$ 式から次式が得られる。 $\eta = \rho/p = M - \frac{dv^p}{d\gamma^p} \dots \textcircled{2}$ 塑性理論より、塑性ひずみ増分 $d\epsilon_{ij}^p$ は、 $d\epsilon_{ij}^p = h \frac{\partial \psi}{\partial \sigma_{ij}} \frac{\partial \phi}{\partial \sigma_{ij}} d\sigma_{ij} \dots \textcircled{3}$ (ψ : 塑性ポテンシャル, ϕ : 降伏関数, h : 硬化関数) で示されることから、 dv^p , $d\gamma^p$ は $dv^p = h \frac{\partial \psi}{\partial p} dp \dots \textcircled{4}$, $d\gamma^p = h \frac{\partial \psi}{\partial \rho} d\rho \dots \textcircled{5}$ となる。ここで $\psi = P F(\eta)$ において $\textcircled{2}$ 式に代入すると $\psi = P e^{\frac{\eta}{M}}$ が求まる。さらに、降伏関数 ϕ に関しては $\phi = \eta$ を用いると $dv^p = h \frac{M-1}{M} e^{\frac{\eta}{M}} d\eta \dots \textcircled{6}$, $d\gamma^p = h \frac{1}{M} e^{\frac{\eta}{M}} d\eta \dots \textcircled{7}$ が得られる。実験値を $\textcircled{6}$ に代入することによって硬化関数 h が求められる。

3. 3. 2. $\frac{dv^p}{d\gamma^p}$ と応力比 η の関係

図-4に示すように、 $\frac{dv^p}{d\gamma^p}$ と η の関係は全試料に対して同一の傾向を示す。各々の試料の粒径の配合は違うものの、構成粒子そのものは同一のものであることからその妥当性がうかがえる。この関係を直線近似すると $\eta = 1.65 - \frac{dv^p}{d\gamma^p}$ が得られる。また、拘束圧に対する依存性がないことも確かめられた。

3. 3. 3. 硬化関数 h と塑性仕事 W_p の関係

負荷履歴は塑性変形が進行している時のみ変化するものであるから、砂におけるエネルギー消散が粒子間の相互干渉もしくはせん断によって、 $\rho = M p$ の状態でおこなうとするならば、塑性仕事は $W_p = M \int p d\gamma$ で与えられる。ここでは便宜上、 $W_p = \int \rho dv$ とすると図-5に示すように、硬化関数 h と塑性仕事 W_p との関係は、全試料に対して同一の傾向を示す。

3. 3. 4. 硬化関数 h と応力比 η の関係

すべての試料に対して $M = 1.65$ であることから、硬化関数 h の相違は各試料の応力-ひずみ曲線の違いを表現していることになる。そこで、硬化関数と応力比 η の関係を求めるために、図-6に $\tan^{-1} h$ と η の関係をプロットしてみると直線式 $\tan^{-1} h = \eta + b$ (b : 定数) が得られる。傾き a は、図-7に示すように $\lg a \sim \lg \sigma_c$

において直線関係を示し、しかもほぼ同一の傾きを持つ。これは、 a の値が圧縮係数 σ_c では得られなかった拘束圧の影響を表現するものと考えられる。また、 b についても $b \sim \tan^{-1} h_0$ との間に直線関係が得られ、各試料間でも図-9に示される a と同様の傾向を示すことが確かめられた。さらに無調整試料のみではあるが、相対密度と a の間には図-8に示されるような直線関係を得る。これらのことから、液状化強さと関連づけられるとされている σ_{cr} と同様、しらすの場合には a がその指標になりうるものと考えられる。

4. 結論 各試料の静的変形強度特性は、均等係数・平均粒径によって顕著な差を示し、細粒分含有率の変化に対しては、強度よりも圧縮性の方により大きな差異が認められた。さらに、動的強度との相関性においては、しらすのように圧縮性が大きい場合、圧縮係数 σ_c よりも硬化関数 h の定数である a の値を用いた方がより明確であると考えられる。今後、液状化試験を行うことによって検討を加えていきたい。

[参考文献] 1) 梅原・善・浜田: 飽和砂の液状化強さと静的性質の相関性, 第13回土質工学研究発表会 pp. 529~532, 1978. 2) Schofield and Wroth: Critical State Soil Mechanics, McGraw-Hill, 1968. 3) Barrooshab, Hakubec, Sherbourne: Yielding and flow of sand in triaxial compression, part I, II, Canadian Geotechnical Journal, Vol 3, Vol 4, 1966, 1967.

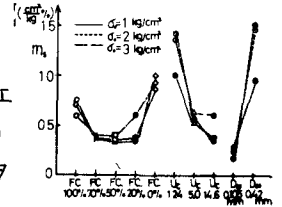


図-3

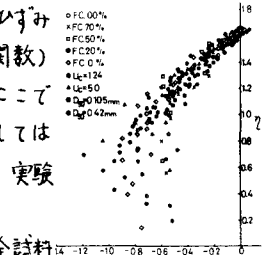


図-4

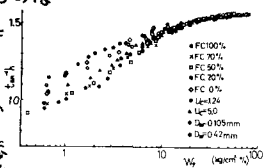


図-5

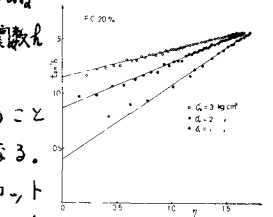


図-6

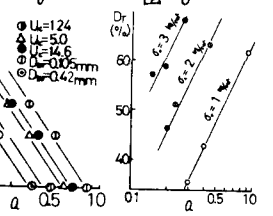


図-7

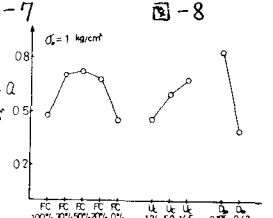


図-8

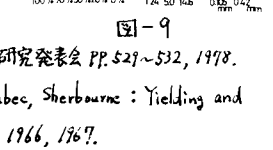


図-9