

III-23

シルトを含む砂の液状化強度特性

東北大学工学部（学）○川辺英昭  
 東北大学工学部（学） 黄 大振  
 東北大学工学部（正） 柳沢栄司

1. まえがき

細粒分を含む砂の動的強度については、数多くの研究がなされ、かなりの見識が得られているが、細粒分中の粘土は粒子間の電気化学的性質のため細粒分の特性を評価しにくくなる。それで本研究では単純化するために細粒分中よりシルトのみを取りだし、シルトを含む砂について考えた。

細粒分中のシルト分は粒径、透水係数などの物理的性質が粘土とは異なるためシルト分を含む砂の載荷速度の影響についても調べる必要があり、本研究ではシルト含む砂に対して繰返し三軸試験装置を用いて載荷速度の変化による液状化強度を調べた。

2. 試料及び実験方法

1) 試料

実験に用いた試料は砂として豊浦標準砂、シルトとしては豊浦標準砂製造の際にできた細粒分から粘土分を除去して使用した。粘土分は水洗いとStoke's法則による粒子の沈降速度の差を利用して粘土分含有率5%以下になるまで繰り返して除去した。このような方法で得られたシルト分を標準砂に入れてシルト分含有率0、10、30、50、70、100%の混合試料を作成した。図-1はそれぞれの粒径加積曲線を示したものである。試料は人工的に混合したものであり、シルト分含有率は思った通りになっていることが分かる。表-1は試料の物理的諸量を表しているが比重はほぼ同じで各試料の塑性指数はすべてNP（非塑性）であった。

2) 供試体及び実験方法

実験装置としては繰返し三軸試験装置を用いたが載荷部の自動制御載荷装置は0.01Hzから100Hzまで変えることができるものである。測定装置はADコンバータを用いてアナログ信号をデジタル信号に変え、パソコンにつなぎ、プログラムで読み込む方式を使った。従ってせん断中の間隙水圧の値を読むことから有効応力経路を描くことができた。供試体は相対密度50%になるように約340g位のランマーで軽く突き固めながら作成した。また実験終了後に供試体内のシルト分が均等に分布しているかどうかを確認するために供試体を三等分してそれぞれのシルト分含有率を調べてみたがほとんど同等であった。供試体は直径5.0cm、高さは12.5cmの標準供試体で、CO<sub>2</sub>循環、脱気水循環し、飽和された後背圧を1.0kgf/cm<sup>2</sup>かけ、拘束圧1.0kgf/cm<sup>2</sup>で3~36時間にわたって十分圧密した。尚SkemptonのB値は0.96以上のものを採用した。

3. 実験結果及び考察

図-2はシルトを含む砂に対して載荷速度0.1Hzで非排水繰返し三軸試験を行った結果である。これはせん断力を加えた時両振幅ひずみ5%の時を初期液状化と判断し、繰返し回数との関係を表わしたものであ

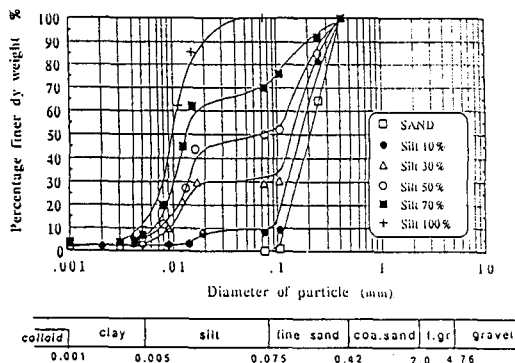


図-1 各試料の粒径加積曲線

試料	D50	Gs	γ	塑性指数	e max	e min
SAND	0.21	2.643	1.51-1.52	NP	0.9567	0.5772
SILT10%	0.19	2.64	1.53-1.55	NP	0.9393	0.5227
SILT30%	0.17	2.642	1.55-1.59	NP	0.9061	0.4381
SILT50%	0.074	2.643	1.54-1.55	NP	0.9973	0.4796
SILT70%	0.012	2.643	1.52-1.54	NP	1.1962	0.5775
SILT100%	0.009	2.644	1.52-1.53	NP	1.5209	0.7445

表-1 各試料の物理的諸量

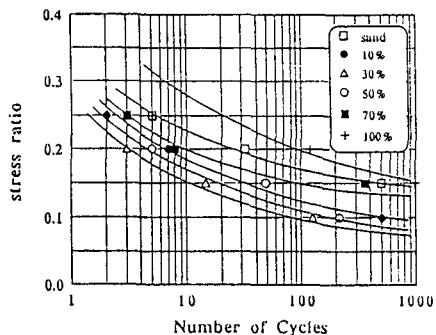


図-2 0.1Hzの周波数の場合の液状化強度曲線

る。各試料の液状化強度を比べるとシルト分含有率30%の試料が最も弱い強度を示すということがわかる。次に載荷速度を1Hz及び5Hzに変え各試料ごとに同一の試験を行い、それより各試料に対する $R_{20}$ （繰返し回数20回で液状化に必要な応力比）を求め、各試料の液状化強度に及ぼす載荷速度の影響を比較してみた（図-3）。この図よりこれまでの通説どおり砂の場合は載荷速度の影響がないという結果が得られ、シルトを含む砂の場合は、その含有率が増加するごとに載荷速度による強度の増加の割合が大きくなる傾向が伺える。そこでシルトを含む砂に及ぼす載荷速度の影響は塑性のある粘性土に比べてどの程度異なるか調べるためにシルト100%の試料と粘性土についてのSeedらの結果と比較してみた。（図-4）これより粘性土よりは載荷速度の影響がかなり小さいがシルト分が多いほど載荷速度の増加とともに強度が増加する割合が大きくなることがわかった。

このようにシルトを含む砂が多少なりとも載荷速度の影響を受けるということはそれぞれの有効応力経路を描くことによって説明することができる（図-5）。すなわち図-5の有効応力経路の引張り側のピークで急激な間隙水圧の増加が見られるが、載荷速度の速いせん断試験では間隙水圧が十分発生する前に除荷が起こり、従って初期液状化までの繰返し回数が多くなることが考えられる。また、この図で圧縮側では間隙水圧が急増しないのに対して伸張側で急増するのは、降伏曲線が直線で近似できるならばその広がり、3:2.5の比例関係を持つことに起因すると判断される。

一方、本実験結果をSeedらの過剰間隙水圧蓄積モデルを用いて検討してみた。これは1サイクルあたりの間隙水圧を読み取り繰り替えし回数との関係を示したものである（図-6）。横軸に現在の繰返し回数 $N$ と液状化までの繰返し回数 $N_1$ で正規化した値 $(N/N_1)$ を取り、縦軸に拘束圧 $\sigma_0$ に対する間隙水圧の比 $(U/\sigma_0)$ を取って液状化に至るまでの間隙水圧の増加の状況を示したものである。この図より間隙水圧の発生の初期状態ではシルト分30%の試料が最も大きな割合で増加していることがわかる。シルトを含む砂の液状化強度を考えると最初の立ち上がり大きいほど液状化強度が強く、立ち上がりの傾きが緩いほど液状化強度が弱いことがわかった。

#### 4. 結論

- (1) シルトを含む砂に対して非排水状態繰返し三軸試験を行った結果、シルト分含有率30%の試料が最も弱い強度を示した。
- (2) シルトを含む砂は載荷速度が速いほど液状化強度が高くなり載荷速度の影響は粘土より少ないがシルト分含有率が大きくなるほど液状化強度の増加幅は大きくなる。
- (3) 載荷速度の影響は有効応力経路より検討できる。

#### 参考文献

黄大振・草野 満・柳沢栄司：細粒分を含む砂のせん断強度に関する研究、第26回土質工学会研究発表回講演集、pp757~758、1991

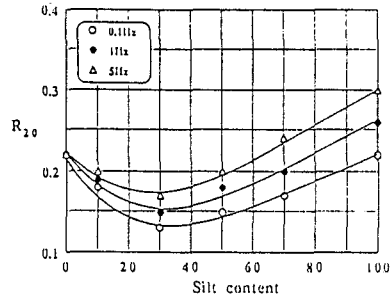


図-3 各載荷速度での $R_{20}$ とシルト含有量の関係

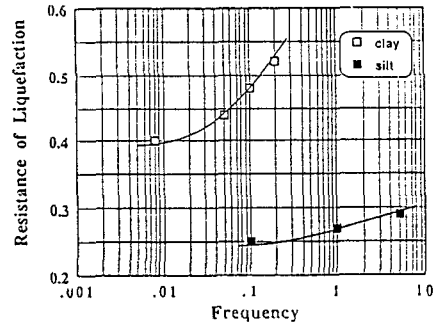


図-4 粘土とシルトの載荷速度の影響の比較

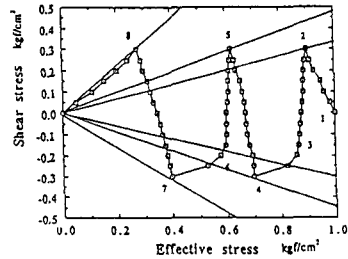


図-5 載荷速度0.1Hzの時の有効応力経路

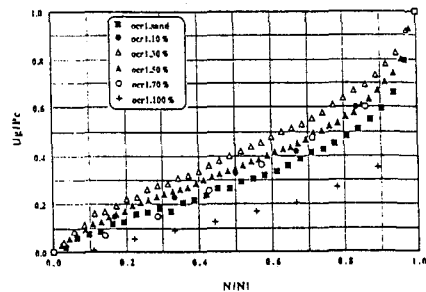


図-6 正規圧密状態での間隙水圧発生曲線