

III-A 82

細粒分含有量が砂の液状化強度及びその過程における変形特性に及ぼす影響

横浜国立大学大学院 ○佐藤 一也
 横浜国立大学工学部 プラダン・テージ

1. はじめに： 近年、特に臨海部の埋立地などにおいてこれまで液状化しにくいとされてきた粒径 74 μ m 以下の土粒子（細粒分）を含んだ砂地盤での液状化による地盤災害が目立つようになってきた。また液状化にともなう地盤災害として、液状化によって地盤の変形係数が低減するために地盤が流れるように移動する側方流動という現象がしばしば確認されてきた。そこで本研究では、砂の液状化強度と液状化過程における変形特性に対して細粒分含有量が及ぼす影響を調べることを目的として、低塑性な細粒分と砂を人工的に配合した試料による一連の室内試験を行った。

2. 試料及び実験方法： 試料には豊浦砂と低塑性な細粒分を混合したものを用いた。細粒分として用いたのはフライアッシュ（試料 F）、沖積粘性土を粒度調整したもの 2 種類（試料 Y、試料 N）の 3 種類である。これらの試料の物理特性を図 1 に示す。また、試験機には三軸試験機を用いた。供試体は直径 7.5cm、高さ 15cm であり、試料に最適含水比となる量の水を加えてよく攪拌したものを 3 層に分けて突固めることによって作製した。突固めは、重量 1.5kg、直径 7.0cm、のランマーによって落下高さ 5cm に固定して行った。なお、供試体の相対的な密度は供試体の乾燥密度をその試料の最大乾燥密度で除した値 ρ_d/ρ_{dmax} (%) によって統一した。試験はすべて有効拘束圧 49kPa で等方圧密を行ってから非排水状態として、(1)微小変形試験（ひずみレベル 10⁻⁵ における繰返しせん断試験）を行った後に、(2)液状化強度試験（繰返しせん断試験）、または(3)液状化過程における変形試験（繰返しせん断後の単調圧縮せん断試験）を行った。なお繰返し載荷は周波数 0.1Hz の応力制御、単調載荷はひずみ速度 0.5%/min のひずみ制御とした。

3. 実験結果及び考察： 図 2 は、液状化強度試験から得られた両振幅軸ひずみ $\epsilon_{DA}=5\%$ に関する繰返し強度曲線である。試料名は、豊浦砂を表わす T の後に細粒分の種類 (F, Y, N) と細粒分含有率を表記した形となっている。図 2 から、細粒分含有率が小さい試料の繰返し強度曲線は繰返し回数が小さい領域で急激に立ち上がっていることがみてとれる。図 3 は、図 2 において繰返し回数 20 回の繰返し強度 (SR)_{Nc=20} に注目して、繰返し強度に細粒分含有量が及ぼす影響を示したものである。試料 TY-15 の (SR)_{Nc=20} は他の試料と比較して大きい、全体的には細粒分含有率が大きくなるほど (SR)_{Nc=20} が小さくなる傾向がみられる。また、図 4 は (SR)_{Nc=20} と微小変形試験から得られた等価せん断弾性係数 G_{eq} (kPa) の関係である。本研究で用いた混合試料に関しては、せん断弾性係数が小さくなるほど繰返し強度も小さくなるという結果になった。

図 5 は、単調圧縮せん断試験における応力-ひずみ関係の代表例（試料 TN-15）である。繰返しせん断による過

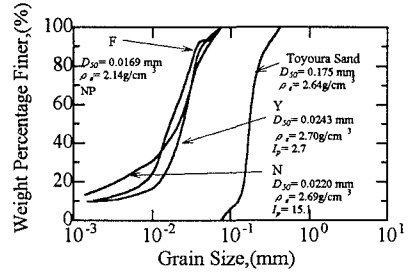


図 1 試料の物理特性

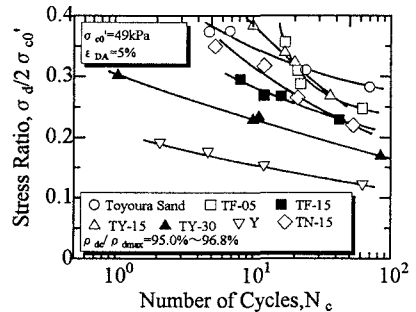


図 2 繰返し強度曲線

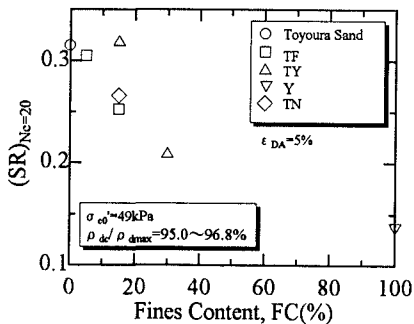


図 3 細粒分含有量が繰返し強度に及ぼす影響

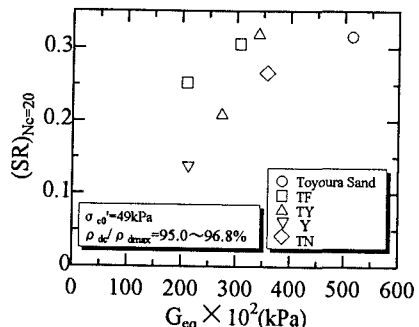


図 4 液状化強度とせん断弾性係数の関係

剰間隙水圧の蓄積（過剰間隙水圧比 $\Delta u_{BM}/\sigma_{c0}$ ）が大きくなるほど、応力-ひずみ関係を示す曲線の右への傾きが大きくなっている。なお $\Delta u_{BM}/\sigma_{c0}=0.0$ というケースは、繰返しせん断過程のない単なる単調圧縮せん断試験を意味している。

本研究では、各試料における単調圧縮せん断試験の応力-ひずみ関係から変形特性を把握するために図6に示すような割線係数を定義した。任意のひずみにおける割線係数 E_{sec} (kPa) は、 $\Delta u_{BM}/\sigma_{c0}$ が大きくなるにしたがい低下する。図7は、軸ひずみ 0.00003 における割線係数 $E_{sec,0}$ (kPa) を微小変形試験から得られた等価ヤング率 E_{eq} (kPa) で除した値に細粒分含有量がどのような影響を及ぼしているかを示したものである。 $E_{sec,0}/E_{eq}$ は、微小なひずみレベル (10^{-5}) における変形係数が繰返しせん断を行う前と比べてどれだけ低下したのかを表わすものであり、この値が小さいほど液状化による流動現象は起こりやすいと考えられる。図7から、細粒分が低塑性であり細粒分含有率が30%までの範囲内であれば液状化にともなう流動現象の起こりやすさは細粒分含有量によらないことがわかる。図8は、図6で定義した $E_{sec,r}$ (kPa) に細粒分含有量が及ぼす影響を示したものである。 $E_{sec,r}$ が小さいほど液状化による流動現象が発生した際により流動的な挙動を示すと考えられる。全体的に細粒分含有率が大きくなるほど $E_{sec,r}$ は小さくなっており、液状化時により流動的な挙動を示すようになるといえる。

ところで、これらの実験結果には供試体を突固め法によって作製していることが影響を及ぼしていると考えられる。例えば同じ三軸試験機を用いて供試体の密度をそろえた ($e=0.8$) 豊浦砂の繰返し強度に関して、突固め法の場合の $(SR)_{Nc=20}$ が 0.315 であるのに対して空中落下法の場合の $(SR)_{Nc=20}$ は 0.140 と突固め法の 1/2 程度であった。このように突固め法によって比較的緩く詰めて作製された砂の供試体は、構造が安定した密詰めめの砂のような力学的挙動を示す。細粒分含有量が少ない場合は、細粒分を含む砂においてもこの傾向がみられた。

4. まとめ： 以上のことから次のような結論を得た。

- ①砂と低塑性な細粒分の混合試料において、細粒分含有量が多くなるほど液状化強度は小さくなる。
- ②低塑性な細粒分の混合試料において、細粒分含有量が多くなるほど液状化過程での流動性が大きくなる。
- ③①、②の内容には突固め法によって供試体を作製した影響がかなり含まれる。

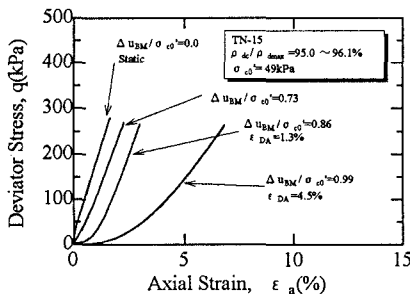


図5 単調せん断試験における応力-ひずみ関係 (試料 TN-15)

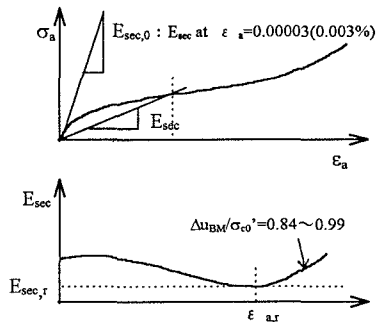


図6 割線係数の定義

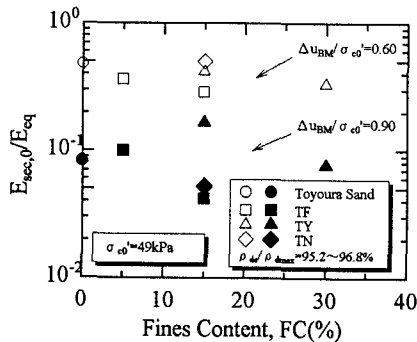


図7 細粒分含有量が $E_{sec,0}/E_{eq}$ に及ぼす影響

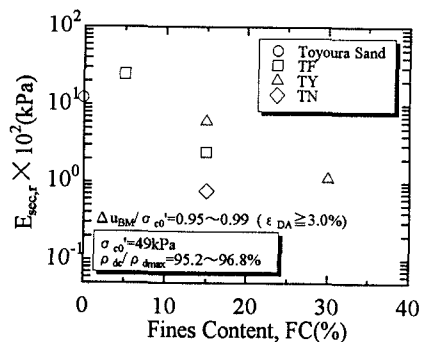


図8 細粒分含有量が $E_{sec,r}$ に及ぼす影響

参考文献：足立雅樹, 安原一哉, (1995): 細粒分を含む砂質土の液状化特性 (1), 第 30 回土質工学研究発表会講演集, pp. 629-632, 佐藤一也, プラダン・テージ, (1996): 細粒分を含む砂の供試体作製方法と非排水繰返し強度について, 第 31 回地盤工学研究発表会講演集 (投稿中)