

## 非塑性細粒分および塑性粘土分を含む飽和砂の液状化強度に関する研究

大阪大学大学院 正会員 鍋島 康之  
 大阪大学大学院 フェロー 松井 保  
 大阪大学大学院 学生会員 長澤 朋視  
 大阪大学大学院 学生会員 斉藤 拓也  
 大阪大学大学院 学生会員 M.A. El Mesmary

### 1. はじめに

近年、比較的液状化しにくいといわれてきた細粒分および粘土分を含む砂が液状化した事例が報告されている<sup>1)</sup>。そこで本研究では、室内で人工的に作成した非塑性細粒分を含む砂および塑性粘土分を含む砂を用いて繰返し中空ねじり試験を行い、液状化特性に及ぼす非塑性細粒分および塑性粘土分の影響について検討した。

### 2. 試験試料および実験方法

本研究では、豊浦標準砂に非塑性細粒分である珪砂と珪石粉を混合し、細粒分含有率 $F_c$ および粘土分含有率 $C_c$ を変化させた試料A1～A3と、さらに塑性粘土分としてカオリン粘土 ( $w_L=81.2\%$ ,  $I_p=44.8$ ) を混合し、細粒分含有率および粘土分含有率を変化させた試料B1, B2を用いて、繰返し中空ねじり試験を行った。

表-1 試料の物理特性

表-1は試験試料の物理特性である。試料AではA1, A2, A3の順に、また試料BではB1, B2の順に細粒分含有率および粘土分含有率が大きくなっており、塑性指数はいずれも非塑性(NP)であった。ただし、試料A1～A3の粘土分は非塑性であるのに対し、試料B1, B2の粘土分は塑性を有している。本研究で用いた中空円筒供試体は内径4.3cm, 外径7.5cm, 高さ15cmで、相対密度が $D_r=40\%$ になるように、ウェットタンピング法で作製した。表-2は繰返し中空ねじり試験の試験条件である。有効拘束圧 $\sigma'_v=98.1\text{kPa}$  (背圧294.3kPa)で等方圧密した後、繰返し周波数0.1Hzの正弦波で応力制御による非排水繰返し载荷を行った。繰返し载荷の終了は両振幅せん断ひずみが15%に達するか、繰返し载荷回数が100回に達する時とした。

	A1	A2	A3	B1	B2
土粒子密度 $\rho_s$	2.634	2.637	2.636	2.645	2.634
最大間隙比 $e_{max}$	1.067	1.013	1.006	1.269	1.342
最小間隙比 $e_{min}$	0.634	0.578	0.544	0.709	0.731
$F_c(\%)$	30.6	32.2	33.5	26.4	26.9
$C_c(\%)$	3.9	7.2	8.1	10.8	11.3
塑性指数	NP	NP	NP	NP	NP

表-2 繰返し中空ねじり試験条件

試料	$c'_v$ (kPa)	f (Hz)	$d/c'_v$
A1	98.1	0.1	0.162, 0.129, 0.113, 0.102
A2			0.138, 0.130, 0.115, 0.090
A3			0.138, 0.130, 0.115, 0.091
B1			0.077, 0.059, 0.055, 0.045
B2			0.072, 0.063, 0.055, 0.049

### 3. 試験結果および考察

各試料に対して4種類の異なる繰返しせん断応力を与えて繰返し载荷を行った結果、すべての試料において液状化が確認された。図-1に両振幅せん断ひずみ7.5%に達するのに必要な繰返しせん断応力比と繰返し回数との関係(液状化強度曲線)を示す。試料AではA1, A2, A3と非塑性細粒分および非塑性粘土分が増加するに伴って、液状化強度が低下している。また試料Bも同様に、B1, B2, と非塑性細粒分および塑性粘土分が増加するに伴って、液状化強度が低下している。一般に細粒分および粘土分の増加とともに液状化強度が増加するとされ、その理由として粒子間の粘着力が増加することで説明されているが、本研究で用いた細粒分および粘土分は非塑性もしくは低塑性であるため、粘着力の増加は期待できず、逆に細粒分および粘土分の増加に伴って砂粒子相互のかみ合わせが減少するため、液状化強度が低下したのではないかと考えられる。また、試料Aと試料Bの液状化強度曲線を比較すると、非塑性細粒分を多く含む試料Aが上方に、塑性粘土分を多く含む試料Bが下方に位置しているため、細粒分あるいは粘土分の増加に伴う液状化強度の低下は、非塑性細粒分の増加よりも塑性粘土分の増加による影響が大きいと考えられる。

キーワード：液状化、繰返し中空ねじり試験、塑性粘土分、非塑性細粒分、飽和砂

連絡先：〒565-0871 吹田市山田丘2-1 TEL 06-6879-7625 FAX 06-6879-7626

次に、 $DA=7.5\%$ 、繰返し载荷回数20回における繰返しせん断応力比を液状化強度と定義し、図-2に液状化強度と細粒分含有率、粘土分含有率、細粒分含有率/粘土分含有率の関係をそれぞれ示す。図-2 (a) から、試料A, Bともに細粒分の増加に伴って液状化強度は低下しているが、その関係にあまり良い相関性はみられない。図-2 (b) からは、粘土分含有率が最も小さい試料A-1の液状化強度が最も高く、逆に粘土分含有率が最も大きい試料B-2の液状化強度が最も小さいことがわかった。つまり、試料A, Bともに粘土分の増加に伴って液状化強度が低下する傾向が得られた。図-2 (c) では、試料A, Bともに細粒分含有率/粘土分含有率の増加に伴って液状化強度が増加する傾向がみられる。以上のことから、細粒分含有率と液状化強度にはあまり良い相関はみられないが、粘土分含有率および細粒分含有率/粘土分含有率と液状化強度には良好な相関がみられることがわかった。

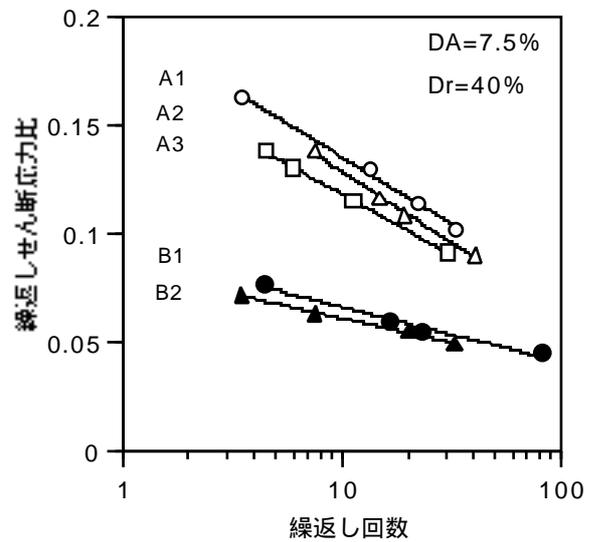


図-1 液状化強度曲線

著者らは中間土の繰返しせん断特性に細粒分の塑性が影響することを明らかにしている<sup>2)</sup>。また、兵動ら<sup>3)</sup>も塑性を有する粘性土の繰返しせん断強度は、塑性指数の増加に比例すると報告している。しかし、本研究で用いた試料のように塑性指数がNPであるような緩い混合砂の場合、その液状化強度に及ぼす影響因子として粘土分含有率および細粒分含有率/粘土分含有率があげられる。また桑野ら<sup>4)</sup>は $Cc=10\%$ 以上含む砂の液状化強度は粘土分含有率とともに増加すると報告している。よって、本研究で行ったように $Cc=11.3\%$ 以下と粘土分含有率が比較的小さい領域においては、粘土分含有率の増加とともに液状化強度は低下することから、砂粒子間に粘着力が作用する程度まで粘土分含有率が増加しなければ液状化強度は増加しないと考えられる。

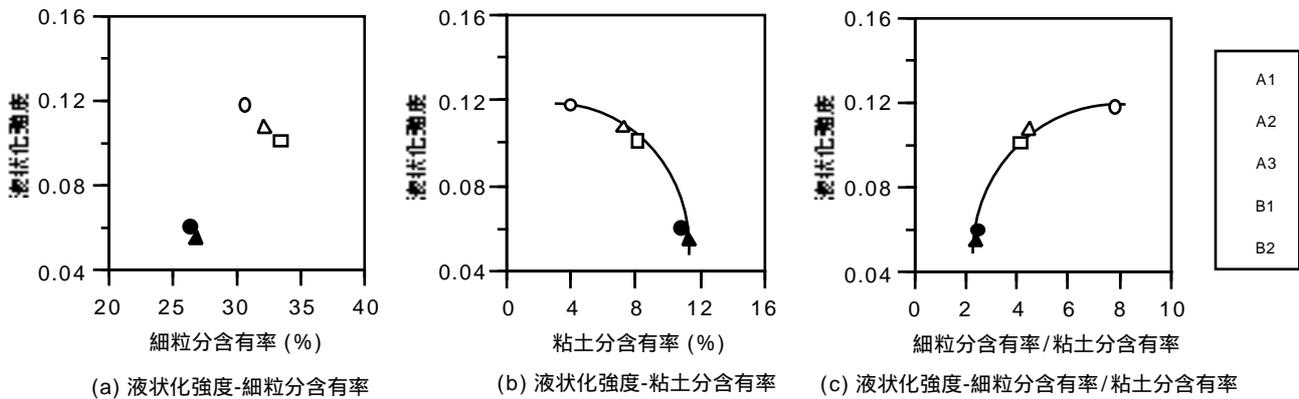


図-2 液状化強度と土質特性

#### 4. まとめ

本研究では飽和砂の液状化特性におよぼす非塑性細粒分、塑性粘土分の影響について検討を行った結果、以下のような傾向が得られた。

- (1) 塑性指数がNPである緩い飽和混合砂において、非塑性細粒分および塑性粘土分の増加により液状化強度は低下するが、その傾向は塑性粘土分の増加とともにより顕著にあらわれる。
- (2) 液状化強度は細粒分含有率とはあまり良い相関はみられないが、粘土分含有率および細粒分含有率/粘土分含有率とは良好な相関がみられる。
- (3) 砂粒子間に粘着力が作用する程度まで粘土分含有率が増加しなければ、粘土分含有率の増加とともに液状化強度は低下する。

#### 【参考文献】

- 1) 例えば、山本，森本，亀井，安田：鳥取県西部地震における埋立土の液状化，第6回地盤工学研究発表会，pp.393～394，2001。
- 2) 鍋島，竹田，新川，松井：中間土の繰返しせん断特性に及ぼす粘土の影響，地盤工学研究発表会，pp.973～974，2000。
- 3) 兵動，内田：粘性土の動的性質，土と基礎，Vol.46，No.6，pp.53～58，1998。
- 4) 桑野，Sapkota，橋爪，高原：細粒分を含む砂の液状化特性，土と基礎，Vol.41，No.7，pp.23～28，1993。