

# 粘着力を有する砂の液状化強度に関する実験的研究

日本大学工学部 学生会員 ○佐藤 貴彦  
日本大学工学部 正会員 仙頭 紀明

## 1. はじめに

これまで地盤改良砂のような砂質土について非排水繰返し三軸試験を実施すると、粘り強い強度・変形特性を示すことがわかっている<sup>1)</sup>。しかし、比較的高い応力比で繰返しせん断するため、供試体のネッキング破壊等の局所的な破壊が発することも多く、その繰返しせん断強度の定量評価に課題がある。

本研究では、地盤改良砂である浸透固化試料、その比較として海成粘土に対して、応力比と周波数を変えて繰返しせん断試験を行った。それにより繰返し強度とその周波数依存性について考察する。

## 2. 実験方法

試験に用いた試料は海成粘土と地盤改良砂である。海成粘土は、含水比を220%にしたスラリー状の試料を70kPaで20日間予圧密したものを使用した。地盤改良砂は、珪砂5号をシリカ濃度4%の薬液に水中落下法で作成した<sup>2)</sup>（以降浸透固化試料と称する）。各試料の物理試験結果を表-1に示す。実験には中空ねじりせん断試験装置を用いた。供試体はトリミング法<sup>3)</sup>で外径7cm、内径3cm、高さ10cmの中空円筒状に

作製した。供試体の飽和には間隙の空気を二酸化炭素に置き換えて、脱気水を通水し、背圧100kPaを載荷した。供試体のB値を表-2に示す。供試体の圧密条件は有効拘束圧100kPaの等方圧密とする。圧密が終了すると非排水条件にて応力制御繰返しせん断した。

本研究では、海成粘土、浸透固化試料ともに繰返し載荷はせん断ひずみが両振幅で10%(DA=10%)に至るまで継続した。しかし、両振幅が10%に達しない場合は一定時間載荷後終了した。非排水繰返しせん断が終了した後に排水し、再圧密過程の体積変化量を求めた。実験ケースは表-2に示す試料の種類、周波数、応力比( $\tau/\sigma_{vo}'$ )を変化させた12ケースである。ケース1は海成粘土の周波数0.1Hz、ケース2は海成粘土の周波数1Hz、ケース3は浸透固化試料の周波数0.1Hz、ケース4は浸透固化試料の周波数1Hzである。

## 3. 実験結果と考察

図-1に海成粘土の応力-ひずみ関係および有効応力経路の例を示す。応力ひずみ関係をみると、せん断応力の増加に伴いせん断ひずみも増加し、DA=10%に達している。有効応力経路では、繰返しせん断されることにより有効応力が6割程度減少していることが分かる。

表-1 試料の物理特性

	海成粘土 (広島産)	浸透固化試料 (珪砂5号)
土粒子の密度 $\rho_s$ (g/cm <sup>3</sup> )	2.653	2.646
液性限界 $w_L$ %	110.7	
塑性限界 $w_P$ %	37.8	
塑性指数 $I_P$	72.9	
最大間隙比 $e_{max}$		1.141
最小間隙比 $e_{min}$		0.691
一軸圧縮強さ $q_u$ (kN/m <sup>2</sup> )	23.7	49.5

表-2 実験ケース

ケース	試料	周波数 Hz	応力比 $\tau/\sigma_{vo}'$	B値 %
1-1	海成粘土	0.1	0.2	100(102.8)
1-2			0.3	100(109.5)
1-3			0.4	100(102)
2-1	海成粘土	1	0.2	100(101)
2-2			0.3	100(100.5)
2-3			0.4	100(104)
3-1	浸透固化試料	0.1	0.2	99.8
3-2			0.3	99
3-3			0.4	100
4-1	浸透固化試料	1	0.2	98
4-2			0.3	99
4-3			0.4	98.3

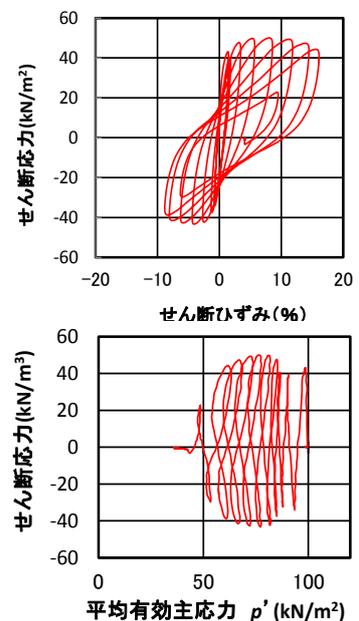


図-1 応力ひずみ関係および有効応力経路  
(ケース 1-3 周波数 0.1Hz  
応力比 0.4)

(キーワード) : 液状化、粘着力、周波数、せん断試験、ネッキング

(連絡先) : 福島県郡山市田村町徳定字中河原1 (TEL) : 024-956-8710

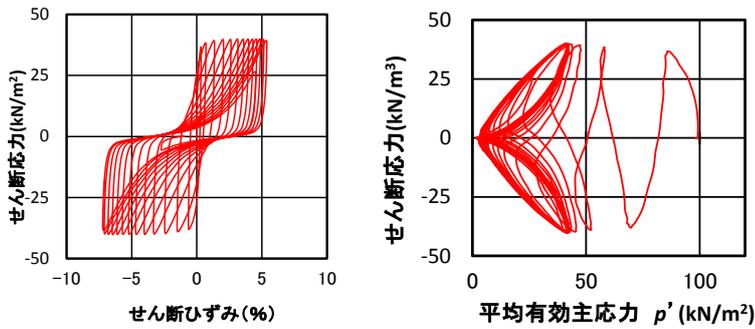


図-2 応力-ひずみ関係および有効応力経路  
(ケース 3-3 周波数 0.1Hz 応力比 0.4)

図-2に浸透固化試料の応力-ひずみ関係および有効応力経路を示す。応力ひずみ関係をみると、せん断応力の増加に伴い、せん断剛性が増加している。有効応力経路においては、有効応力が9割以上減少し、サイクリックモビリティ現象<sup>4)</sup>が現れている。

図-3(a)に海成粘土、(b)に浸透固化試料の液状化強度曲線を示す。周波数1HzのケースではDA10%に達しなかったため、DA2%までの結果を比較する。海成粘土は載荷周波数の高い方が繰返し応力比は大きく現れた。この結果は兵動らの実験結果の傾向と同様となった<sup>5)</sup>。浸透固化試料においては、1Hzよりも0.1Hzのほうが繰返し応力比は大きく現れた。

図-4に繰返し回数10回の時の応力比-周波数関係を示す。海成粘土では周波数が1Hzの場合、繰返し応力比は0.1Hzのそれと比べて最大約14%増加した。浸透固化試料の1Hzの結果では逆に小さくなり、最大で約20%減少した。これは、試験後の供試体観察から説明できる。すなわちケース4のすべての供試体において上端部で局所的に変形が集中するネッキングが生じていた。ネッキングを起こした箇所以外は固結しており比較的健全であった。このことを考慮して考えると、実際の液状化強度を過小評価したものと考えられる。

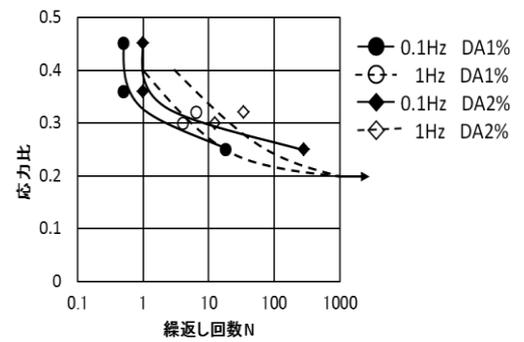
#### 4. まとめ

周波数と応力比を変化させて、浸透固化試料と海成粘土に対して非排水繰返しせん断試験を行った結果、海成粘土では周波数が大きくなると繰返し応力比は増加し、浸透固化試料（砂質土）では減少する結果となった。この強度減少の要因は、供試体の上端面でネッキングが発生したためであり、特に周波数1Hzに顕著にあらわれた。

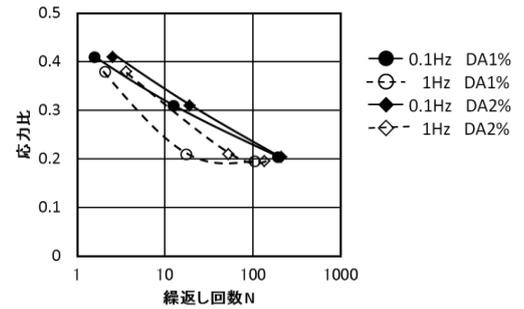
#### 参考文献

- 1)善功企・山崎浩之・長澤啓介(1992):事前混合処理土の動的強度・変形特性,第27回土質工学研究発表会講演集,pp.933-934
- 2)沿岸技術研究センター(2010):浸透固化処理工法技術マニュアル,pp.56-63
- 3)地盤工学会(2000):土質試験の方法と解説,pp.601-630
- 4)地盤工学会(2007):地盤の動的解析-基礎理論から応用まで-,pp.10-11
- 5)兵動正幸・杉山太宏・山本陽一・河田頼治(1994):繰返しせん断を受ける正規圧密および過圧密粘土の間隙水圧とひずみの評価,土木学会論文集, No.487/III-26, pp.79-88

**謝辞:** この研究は文部科学省の科学研究費（基盤研究(C)：課題番号22560500）の援助を受けました。記して謝意を示します。



(a) 海成粘土



(b) 浸透固化試料

図-3 液状化強度曲線

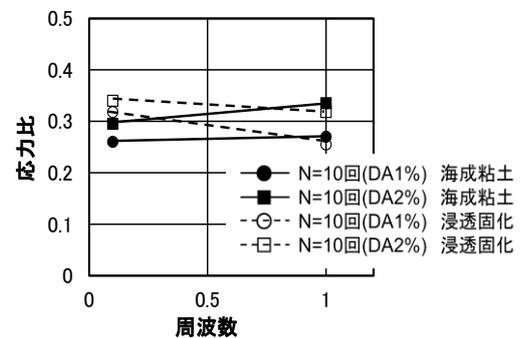


図-4 繰返し回数 20 回の時の  
応力比-周波数関係