

# 定ひずみ非排水繰返しせん断試験による 飽和砂の剛性低下挙動の評価

日本大学工学部 学生会員 ○松能 直登  
日本大学工学部 正会員 仙頭 紀明

## 1. はじめに

近年、平成 28 年熊本地震や平成 30 年北海道胆振東部地震などにおいて液状化被害が発生している。性能設計で液状化による地盤の変形量を予測するためには、液状化解析を実施する必要がある。現状では解析パラメータの決定は、応力制御非排水繰返し試験<sup>1)</sup>で求めた液状化強度曲線のフィッティングにより行っている。しかし液状化強度は繰返しによる疲労破壊強度であり、液状化に至る過程と応力ひずみ挙動を直接評価できない問題点がある。そこで本研究では、非排水繰返しせん断過程の砂質土の剛性低下挙動に着目した、定ひずみ非排水繰返しせん断試験を実施し、液状化に達するまでの剛性低下挙動を定量評価することを目的とする。

## 2. 実験方法

実験には、中空ねじりせん断試験装置を用いた。試料には豊浦砂とオタワ砂を用いた。物理特性を表-1 に示す。供試体寸法は、外径 7cm、内径 3cm、高さ 10cm の円筒状で、空中落下法により作製し、豊浦砂の相対密度  $D_{rc}$  は 30%と 60%を目標とし、オタワ砂は 70%を目標とした。その後、10kPa で予備圧密をし、CO<sub>2</sub> を通した後、脱気水を通水した。その後、背圧を 100kPa 载荷させて、B 値が 95%以上であることを確認した。圧密は有効拘束圧 100kPa で等方圧密を行い、3t 法で圧密終了を確認した。繰返しせん断過程は、非排水条件にて、ひずみ制御試験を実施した。

試験の概要を図-1 に示す。試験は Step1 から Step4 で構成されている。Step1 では初期液状化に至る過程を求めするために、片振幅せん断ひずみ  $\gamma_{SA}=0.1\%$  でせん断を行った。せん断剛性(割線剛性)が初期の 5%以下、もしくは繰返し回数が 50 回に達した時点で次の Step に移行した。Step2 では液状化後の繰返し過程の挙動を把握するために、片振幅せん断ひずみ  $\gamma_{SA}=1.0\%$  でせん断を行い、Step1 と同じ条件を満たした時点で次の Step に移行した。Step3 では液状化状態で繰返しせん断が継続した時の影響を調べるために、片振幅せん断ひずみ  $\gamma_{SA}=1.0\%$  でせん断を行った。最後の Step4 では液状化後の残留変形を評価する。沈下を求める場合は排水し、流動変形を求める場合は、非排水単調せん断を行った。なお本研究では、Step1 の試験の詳細と試験結果から剛性低下挙動を評価する。

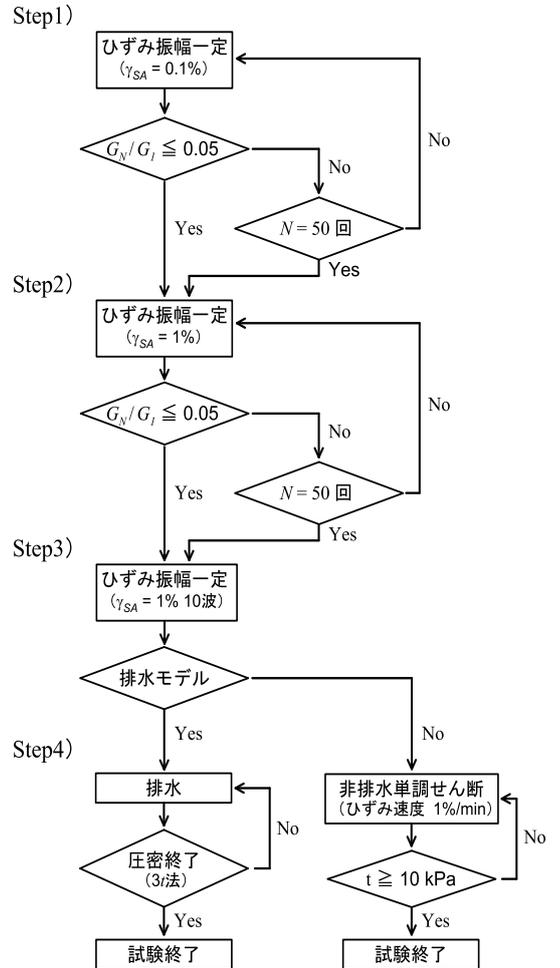


図-1 定ひずみ非排水繰返しせん断試験の概要

表-1 試料とその物理特性

Case	試料	$D_{rc}$ (%)	$G_i$ (MPa)	n (回)	h (%)	E
A-1	豊浦砂	27.9	19.07	23	2.17	0.0023
		61.8	24.56	50	0.80	0.0056
B-1	オタワ砂	69.2	25.22	50	0.83	0.0054

表-2 実験ケース

	$\rho_s$ (g/cm <sup>3</sup> )	$e_{max}$	$e_{min}$	$D_{50}$
豊浦砂	2.628	0.958	0.587	0.17
オタワ砂	2.636	0.838	0.504	0.18

キーワード 液状化 定ひずみ非排水繰返しせん断試験 液状化強度 剛性低下

連絡先 〒963-8642 福島県郡山市田村町徳定字中河原 1 番地, TEL 024-956-8710

実験ケースを表-2に示す。表の $G_1$ は応力-ひずみ関係の1波目の割線せん断剛性、 $E$ は正規化累積損失エネルギー<sup>2)</sup>である。剛性低下挙動は、図-2に示すようにせん断応力振幅の減衰傾向を減衰率 $h$ と定義して評価する。 $h$ は式(1)で表される。

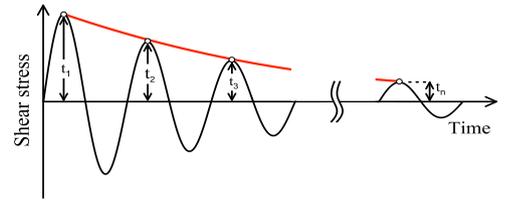


図-2 せん断応力振幅の減衰率

$$h = \log_e \frac{\tau_1 - \tau_n}{2\pi(n-1)} \quad (1)$$

ここで、 $n$ は繰返し回数(最終)、 $\tau_1$ と $\tau_n$ は1回目と最終のせん断応力振幅( $\gamma > 0$ )である。なお $h$ は1自由度系の減衰自由振動における対数減衰率を参考にした。

### 3. 実験結果

応力-ひずみ関係、有効応力経路及びせん断応力の経時変化を図-3に示す。繰返しせん断により有効応力が徐々に低下することで、せん断応力も徐々に低下し、剛性低下が生じている。その傾向は、相対密度が高いほど、せん断応力振幅が緩やかに減衰している。また砂の違いに着目すると、相対密度に近い豊浦砂とオタワ砂は、よく似た挙動を示している。

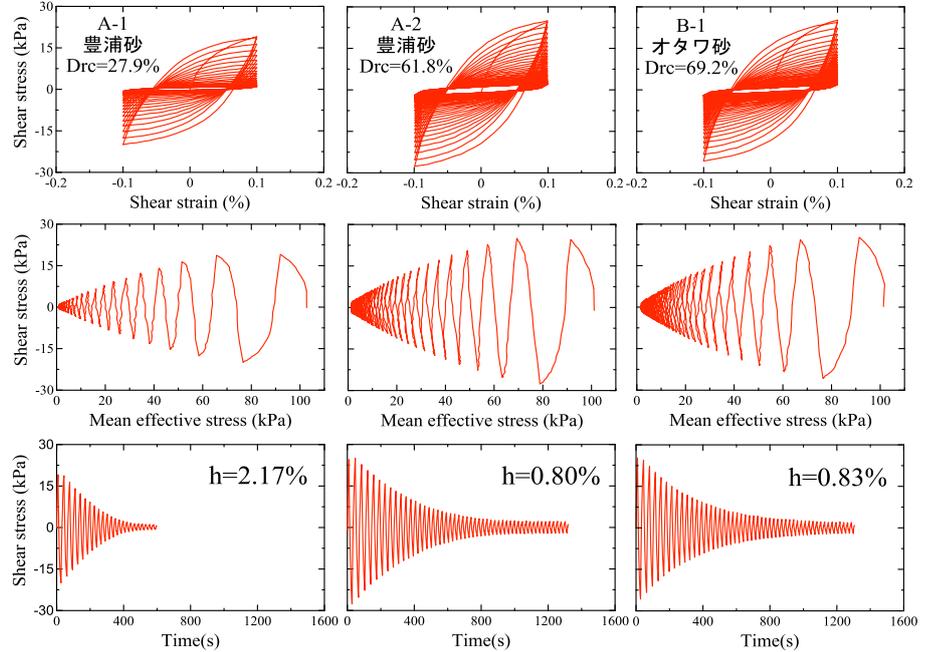


図-3 実験結果の比較

図-4に相対密度 $D_{rc}$ と1回目の割線せん断剛性 $G_1$ 及びせん断応力振幅の減衰率 $h$ の関係を示す。 $D_{rc}$ の増加に伴い $G_1$ は増加し、 $h$ は減少した。

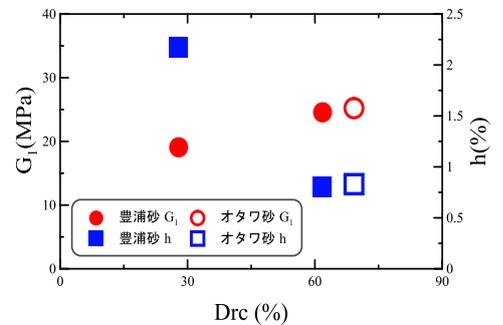


図-4  $D_{rc}$ と $G_1$ と $h$ の関係

図-5に相対密度 $D_{rc}$ と正規化累積損失エネルギー $E$ の関係を示す。 $D_{rc}$ の増加に伴い $E$ は増加し、粘り強い挙動を示した。以上より液状化に至る過程の剛性低下挙動を定量的に表すことが出来た。

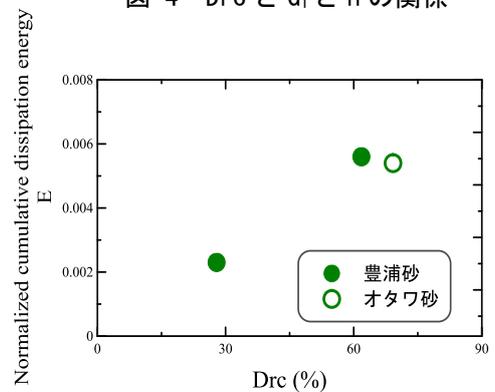


図-5  $D_{rc}$ と $E$ の関係

### 4. まとめ

本研究では、液状化に至る過程の剛性低下挙動に着目した定ひずみ非排水繰返しせん断試験を行い、以下のことがわかった。①緩い砂は繰返しせん断によりせん断応力が急激に低下し、密な砂はせん断応力が緩やかに低下する。②剛性低下挙動をせん断応力振幅の減衰率 $h$ で定義し、定量評価を行うと、 $D_{rc}$ の増加に伴い、 $h$ は減少した。今後はさらに密な試料、地盤改良土、粘性土等を対象にひずみ制御試験を行う予定である。

#### <謝辞>

本研究は、科研費基盤研究(A)15H02263(代表:風間基樹)の援助を受けました。記して、謝意を示します。

#### <参考文献>

- 1) 地盤工学会：地盤材料試験の方法と解説一二分冊の2ー，pp.730-749，2009。2)風間基樹，柳沢栄治，増田昌昭：定ひずみ制御繰返し三軸試験による液状化強度評価の可能性，土と基礎，Vol.46，No.4，pp.21-41，1998。