

## 中空ねじりせん断試験システムの開発

## その3 変形特性試験の適用性の検討

## Torsional Shear Test System on Hollow Cylindrical Specimens of Soils

## Part 3 Examination Applicability of Deformation Properties Test

○對馬楓芽<sup>1</sup>, 山田雅一<sup>2</sup>, 道明裕毅<sup>2</sup>, 矢田部瑛平<sup>3</sup>, 高橋巧真<sup>1</sup>\* Fuga Tsushima<sup>1</sup>, Masaichi Yamada<sup>2</sup>, Yuki Domyo<sup>2</sup>, Yohei Yatabe<sup>3</sup>, Takuma Takahashi<sup>1</sup>

Abstract: There is the torsional shear test as the laboratory test that can faithfully reproduce the stress and deformation state of soil elements in-situ soil. By using the hollow cylindrical specimen, the shear stress distribution in the circumferential direction can be made uniform, so the reproducibility of the stress state in the ground during an earthquake is excellent. In this report, the deformation characteristics test by strain control is performed using the system developed by our laboratory, and compared with the deformation characteristics test results shown in previous studies.

## 1. はじめに

原地盤における土要素の応力・変形状態を忠実に再現できる室内試験としてねじりせん断試験がある。中空円筒供試体を用いることで円周方向のせん断応力分布の均一性が図れるため、地震時の地盤内の応力状態の再現性に優れている。土の繰返し挙動を解明する際に、目標のせん断応力やせん断ひずみを供試体に正確に載荷することは、変形特性を検討するために重要なことであると考えられる。

本報では、当研究室によって開発されたシステム<sup>1)</sup>を用いてひずみ制御による変形特性試験を行い、既往の研究で示されている変形特性試験結果<sup>2)</sup>と比較、検討をし、本試験システムの妥当性を検討する。

## 2. 試験概要

## 2.1 試験試料と供試体作製方法

本試験における試験試料は豊浦砂 ( $\rho_s=2.631\text{g/cm}^3$ ,  $e_{\max}=0.96$ ,  $e_{\min}=0.61$ ) であり、細粒分には非塑性シルトである DL クレイ ( $\rho_s=2.659\text{g/cm}^3$ ) を用いて細粒分含有率 ( $F_c=0, 5, 10\%$ ) を影響因子とし、砂質土の非排水繰返し変形特性試験を行った。Table 1 に試料の試験条件を示す。

Table 1. Experiment condition

Sample	Dr(%)	$\sigma'_c(\text{kN/m}^2)$	$F_c(\%)$
Toyoura sand	40	49	0
		25	0
	60	49	0
			5
			10
		98	0
		80	49

供試体は円柱供試体 (直径 5cm, 高さ 10cm) を JIS 0520 に準拠して空中落下法により作製した。本報告の相対密度は粗粒土のみを考慮したものである。

## 2.2 試験方法

供試体作製後、CO<sub>2</sub> および脱気水を通し、背圧を与え、間隙圧係数 B 値が 0.96 以上であることを確認した後、有効拘束圧  $\sigma'_c=25, 49, 98\text{kN/m}^2$  で等方圧密を行った。圧密終了後、Fig.1 に示すひずみ制御による繰返し載荷試験システムに沿って、広範囲なひずみ領域における変形特性を求めるために非排水繰返し変形特性試験を行った。

Fig.1 に開発したシステムの概略フロー<sup>1)</sup>を示す。本システムでは、正確なひずみ制御を実現するため電動ジャッキによるアクチュエータ制御を行い、制御プログラムは LabVIEW を用いる。ここで、本システムはひずみ制御の一定振幅波に基づいた目標せん断ひずみに対して許容誤差を各段階ごとに变化させて設定し、測定せん断ひずみが目標の許容誤差内に達した際の応答値を逐次取り込んだ。目標せん断ひずみの設定は、初期せん断剛性(以下、 $G_0$  と称す)を測定するせん断ひずみ振幅を 0.001% とし、これを基準に次段階のせん断ひずみ振幅を前段階の 2 倍に増加させ、11 段階までとした。また、本試験は 1 段階 3 サイクルで行った。これは三上ら<sup>3)</sup>によって提案された、試験過程における試料の密実化に対する問題点を解決する方法に準じて実施したものである。 $G_0$  は、上述したようにせん断ひずみ振幅が 0.001% で正弦波の繰返しねじり力を 3 波載荷し、得られたせん断応力( $\tau$ )—せん断ひずみ( $\gamma$ )関係から最小二乗法により求めた。

1 : 日大理工・学部・建築 2 : 日大理工・教員・建築 3 : 日大理工・院(前)・建築

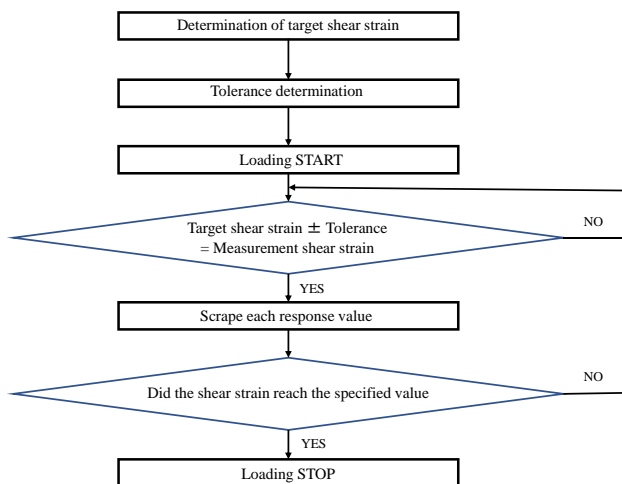


Fig.1 Development System Flowchart<sup>1)</sup>

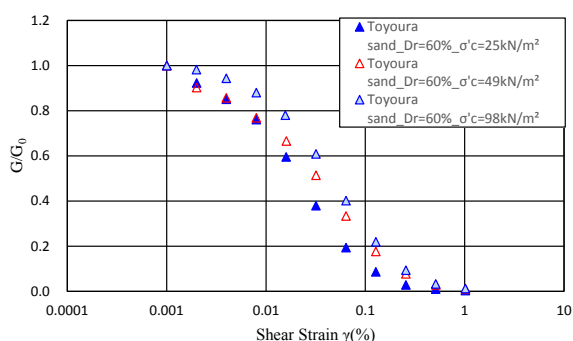


Fig.2 Relation between  $G/G_0$  and  $\gamma$   
(Effect of confining pressure)

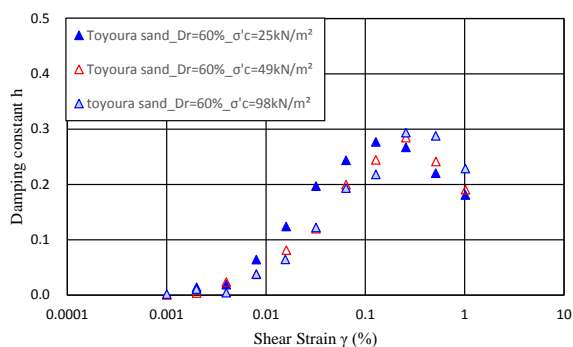


Fig.3 Relation between  $h$  and  $\gamma$   
(Effect of confining pressure)

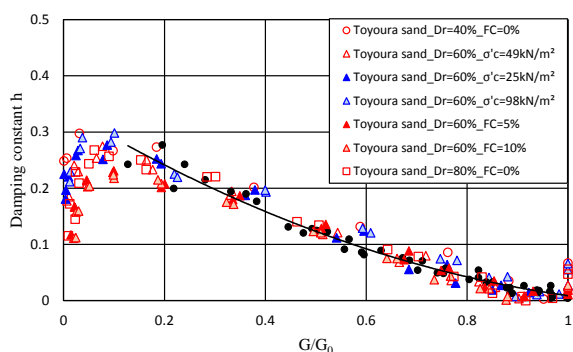


Fig.4 Relation between  $h$  and  $G/G_0$

### 3. 試験結果

#### 3.1 $G/G_0$ - $\gamma$ , $h$ - $\gamma$ の関係

Fig.2, 3 は拘束圧の違いによる  $G/G_0$ - $\gamma$ ,  $h$ - $\gamma$  関係の試験結果を示す。Fig.2 より、 $G/G_0$ - $\gamma$  関係は同じせん断ひずみの値で比較すると拘束圧の増加とともに  $G/G_0$  の値が増加することが確認できた。これは、例えば文献<sup>4)</sup>に示されている拘束圧依存性の結果と同様の傾向を示すものである。Fig.3 より、減衰定数  $h$  はピーク値 ( $h_{max}$ )までは拘束圧が高いほど減衰定数が小さくなる傾向を示していることがわかる。また、ピーク値 ( $h_{max}$ )以降においては減少する傾向が確認できる。これは、せん断ひずみの増大に伴い、 $\tau$ - $\gamma$  関係が過剰間隙水圧の発生によって逆 S 字の形状となり、減衰定数が減少したためである<sup>5)</sup>。

#### 3.2 $h$ - $G/G_0$ の関係

Fig.4 には相対密度、拘束圧、および細粒分含有率を変えた試験結果と既往の報告<sup>2)</sup>(豊浦砂,  $D_r=50, 80\%$ ,  $\sigma'_c=98\text{kN/m}^2$ )に示された  $h$ - $G/G_0$  関係との比較を行った。既往の報告<sup>2)</sup>で示された  $h$ - $G/G_0$  関係の試験結果の平均曲線を実線で示した。同図より、本試験結果と既往の文献による変形特性は概ね一致していることを確認した。

### 4. まとめ

本報告で得られた知見は以下の通りである。

- 1) 広範囲なひずみ領域における変形特性を求めるために、当研究室で開発されたシステムを用いて、ひずみ制御による非排水繰返し载荷試験を行った。
- 2) 本試験システムで得られた変形特性結果と既往の変形特性結果との比較検討を行い、概ね良い対応が得られたことから本システムの妥当性を確認できた。

#### 【参考文献】

- 1) 竹中雄紀, 山田雅一, 安達俊夫, 山田峻作, 寺木亨: 中空ねじりせん断試験システムの開発 その 2 ひずみ制御による载荷システム, 日本大学理工学部学術講演会論文集, pp.145-146, 2015.
- 2) 土の動的変形定数試験方法基準化委員会: 室内繰返し载荷試験による土と堆積軟岩の変形特性に関する全国一斉調査試験の結果について, 土質工学会, pp.1-39, 1994.
- 3) 三上武子, 吉田望: 大ひずみ領域を考慮した繰返しせん断試験方法の提案, 土木学会論文集 A1, Vol.73, No.4, pp.I-995-I-1000, 2017.
- 4) 足立紀尚, 龍岡文夫: 新体系土工学 18 土の力学(III), 土木学会, pp.210-233, 1981.
- 5) 内田明彦, 畑中宗憲, 時松孝次: 地盤材料の繰返し変形特性の定式化, 日本建築学会構造系論文集, 第 544 号, pp.69-75, 2001.