

繰返しねじりせん断試験による動的パラメータの検討 Consideration of dynamic parameter using Cyclic Torsional Shear Test

内田一徳*・ 中川慶*

Kazunori UCHIDA and Kei NAKAGAWA

1. はじめに

兵庫県南部地震においてため池堤体部と洪水吐が剥離し、生じた隙間からため池内の水が浸透し、ため池洪水吐周辺が破壊した事例が多く確認されている。洪水吐が被災し十分な排水能力を失われると、ため池の越流や下流域への二次的災害の可能性が大きくなる。そこで本研究室では、耐震性に優れたため池洪水吐の検討をするため、霞ヶ浦砂で模型地盤を作製し、振動台実験を行った。さらに、有限要素法(FEM)により定量的に動的解析をする際、地盤の物性値が必要となる。

そこで本研究では、より忠実に振動台実験の模型地盤を再現することに注意しながら、静的ねじりせん断試験、繰返しねじりせん断試験を行い、解析に必要な霞ヶ浦砂の振動台実験の条件を満たすときの物性値を検討した。

2. 試験概要

2.1 試験用試料と供試体作製方法

本試験で用いる試料は、霞ヶ浦砂である。Table 1 に物理特性、Fig.1 に粒度分布を示す。振動台実験での模型地盤を忠実に再現するため、同じ条件の $w=7.5\%$ で試料を調整し、高さ 10cm のモールド内に一層 2cm (5 層) で、高さ、試料の重量をコントロールしながら $\rho_d=1.60\text{g/cm}^3$ になるよう突き固め、供試体を作製する。供試体寸法は外径 70mm、内径 30mm、高さ 100mm の中空円筒状である。

2.2 中空ねじりせん断試験 (静的試験)

まず、中空ねじりせん断試験により静的定数である c, ϕ を決定する。試験条件は、供試体作製後、不飽和状態でねじりせん断を行った (UU 試験)。拘束圧は 50, 100, 150kPa の 3 種類で行い、ねじりせん断ひずみ速度を 0.1%/min. とした。Table 2 に試験に用いた供試体条件を示す。

2.3 繰返しねじりせん断試験 (動的試験)

ここでは、繰返しねじりせん断試験により動的定数であるせん断弾性定数 G 、減衰比 D を決定する。試験条件は、静的試験同様に供試体作製後、不飽和状態でひずみ制御により供試体に正弦波を与え、せん断する。拘束圧は 50, 100kPa の 2 種類とした。せん断ひずみ振幅は $10^{-4} \sim 10^{-2}$ の一定振幅である。正弦波は周波数 0.01Hz とし、繰返し回数は 3 回とした。Table 3 に試験に用いた供試体条件を示す。dy02 ~ dy05 のケースは、ステージテスト方式を用いた。

Table 1 霞ヶ浦砂の物理特性
Physical properties of Kasumigaura sand

名称		霞ヶ浦砂
分類		砂
粒度特性	最大粒径 (mm)	4.75
	均等係数 U_c	3.16
土粒子密度 $\rho_s(\text{g/cm}^3)$		2.722
締固め	最大乾燥密度 $\rho_{dmax}(\text{g/cm}^3)$	1.745
	最適含水比 $w_{opt}(\%)$	13.36
最大最小	最大乾燥密度 $\rho_{dmax}(\text{g/cm}^3)$	1.669
	最小乾燥密度 $\rho_{dmin}(\text{g/cm}^3)$	1.260

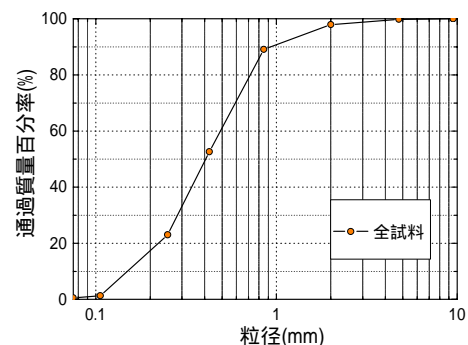


Fig.1 霞ヶ浦砂の粒度分布
Grain size distribution curve of Kasumigaura sand

Table 2 供試体条件(ねじりせん断試験)
Conditions of specimen (Torsional Shear Test)

拘束圧 (kPa)	50	100	150
乾燥密度 $\rho_d (\text{g/cm}^3)$	1.572	1.572	1.574
含水比 $w (\%)$	7.50	7.27	7.62
間隙比 e	0.731	0.731	0.729

Table 3 供試体条件(繰返しねじりせん断試験)
Conditions of specimen (Cyclic Torsional Shear Test)

Case	dy01	dy02	dy03	dy04	dy05
拘束圧 (kPa)	100	100	100	50	50
乾燥密度 $\rho_d (\text{g/cm}^3)$	1.576	1.576	1.575	1.594	1.575
含水比 $w (\%)$	7.23	7.23	7.53	7.33	7.33
間隙比 e	0.727	0.728	0.728	0.707	0.728

*神戸大学農学部 Faculty of Agriculture, Kobe University

キーワード：中空ねじりせん断試験・繰返し試験・霞ヶ浦砂・減衰比

3. 試験結果・考察

3.1 静的試験結果と考察

Fig.2 に応力経路を示す．これから， $c=7.68\text{kPa}$ ， $\phi=38.62^\circ$ という結果が得られた．昨年の研究より締固めた堆積面に対して水平にせん断させるねじりせん断試験の場合，堆積面とせん断モードの関係から粘着力が発現しにくいと報告されている⁴⁾が，今回の条件では供試体は不飽和であるため，サクシオンにより少々粘着力 c が現れたと考えられる．また，せん断面は多くに2つ，堆積面付近に見られたが，振動台実験の模型地盤でも堆積面にせん断面が見られたので問題はないと考えられる．

3.2 動的試験結果と考察

まず実験により得られたせん断弾性定数 G から，ひずみが 10^{-6} の時のせん断弾性定数が測定する最大の定数を与えると考えて G_0 とおき， G_0 を決定し，実験データを正規化したのが Fig.3 である．ここには柴田の近似式¹⁾をあわせて表記してある．この近似式は砂質土に対する経験式であり，中ひずみ程度まで適応する．実験値がこの近似式とほぼ対応することから，本実験から算定した G_0 は妥当であり，実験値も妥当であると考えられる．よって振動台実験地盤の拘束圧に対して G を決定することが可能であると考えられる．

次に減衰比のデータを Fig.4, Fig.5 に示す．ひずみが大きいとき (5×10^{-2} 程度) の減衰比を D_0 とおく．減衰比はひずみが大きくなるにつれて増加する．さらに拘束圧が小さくなることで増加していることがわかる．これは砂の粒子を押しつける力が小さくなると，個々の粒子のすべりが起こりやすくなるため，摩擦損失が大きくなって減衰比が増加したと考えられる．ひずみが小さいときの実験データは測点数，精度の点からうまく履歴ループが描けず，履歴ループの面積を過大評価した可能性があるためデータの正確さに欠けるが， D の範囲がおおよそ確認できる．

4. 結論

- (1) 霞ヶ浦砂に対しての繰返しねじりせん断試験の結果は，砂質土のデータとほぼ同じであり，本研究の妥当性を見いだすことができた．
- (2) 振動台実験と同条件のせん断弾性定数 G を算出することが可能であると考えられる．
- (3) 振動台実験と同条件の減衰比 D のおおよその範囲を推定することができた．

参考文献: 1) 石原研而 (1976), 土質力学の基礎, pp.91-208. 2) 社団法人地盤工学会 (2000), 土質試験の方法と解説, pp.54-63, pp.69-79, pp.601-634. 3) 龍岡文夫他 (1981): 新体系土工学 18()-圧密・せん断・動的解析-, pp.49-83. 4) 内田一徳他 (2006): 中空ねじりせん断試験によるため池底泥改良土の力学特性, 第41回地盤工学研究発表会

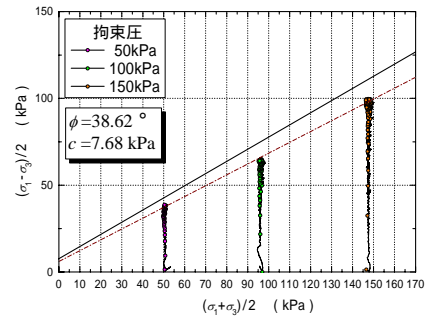


Fig.2 応力経路
Stress path

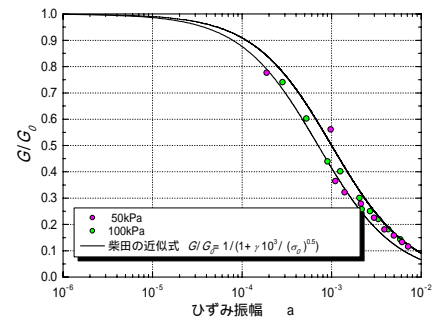


Fig.3 せん断弾性定数とせん断ひずみの関係
Relationships between shear modulus and shear strain

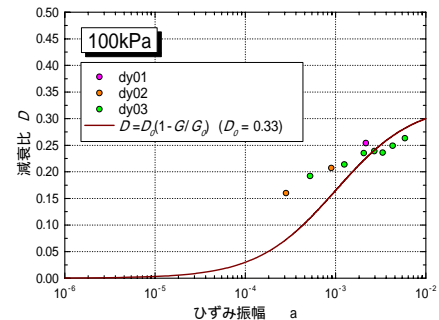


Fig.4 減衰比とせん断ひずみの関係
Relationships between damping ratio and shear strain

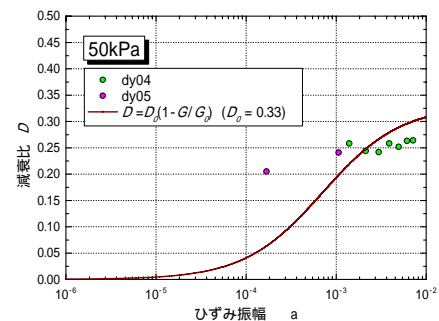


Fig.5 減衰比とせん断ひずみの関係
Relationships between damping ratio and shear strain