

繰返し三軸試験とベンダーエレメント試験による霞ヶ浦砂の動的変形特性 Dynamic Deformation Characteristic of Kasumigaura Sand using Cyclic Triaxial and Bender Element Test

中川 慶*・重中亜由美**・内田一徳*

Kei NAKAGAWA, Ayumi SHIGENAKA and Kazunori UCHIDA

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、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。そこで本研究では、耐震性に優れたため池洪水吐の検討をするため、霞ヶ浦砂で作製した模型地盤によるため池洪水吐の振動台実験を行った¹⁾。さらに、有限要素法(FEM)を用いて定量的に動的解析を行った。その際に地盤の物性値が必要となるために昨年度は、中空ねじりせん断試験を用いて振動台実験の地盤条件(不飽和・非排水条件)における霞ヶ浦砂の動的変形特性を推定した²⁾。本研究では、三軸圧縮試験機とベンダーエレメント(BE)を用いて微小ひずみでのせん断弾性係数 G を推定することを目的としている。また、この結果と昨年度の結果をふまえ、不飽和土のポアソン比 ν についても検討を行った。

2. 試験材料と試験方法

2.1 試料と供試体作製方法

用いた試料は霞ヶ浦砂であり、Table 1 に物理特性を示す。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 5 層で、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 50mm $\phi \times 100\text{mm}$ h である。Table 2 に試験条件を示す。

2.2 ベンダーエレメント(BE)試験

供試体を三軸セルにセットし、50kPa と 100kPa の 2 種類の拘束圧で BE 試験を行った。BE の振動波形は、出力電圧 10V、周波数 1kHz の正弦波を用いた。BE 試験より得られた送受信波時刻歴より peak-to-peak 法でせん断弾性波伝達時間 Δt を決定し、以下の式で G を決定している。

$$V_s = L / \Delta t, \quad G = \rho_t \cdot V_s^2 / g \quad (1)^3$$

(ここで、 V_s : せん断波速度(cm/s)、 L : 伝達距離(BE 間距離)(cm)、 Δt : 遅延時間(s)、 G : せん断弾性係数(kPa)、 ρ_t : 湿潤密度(g/cm^3)、 g : 重力加速度(cm/s^2))

所定の拘束圧になったところで、供試体の初期せん断弾性係数 G_0 を測定する。また繰返し三軸試験中においても、一定間隔で BE を用いてせん断弾性係数を測定した。

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

名称		霞ヶ浦砂
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 $\rho_{d\max}(\text{g/cm}^3)$	1.745
	最適含水比 $w_{\text{opt}}(\%)$	13.36
最大最小	最大乾燥密度 $\rho_{d\max}(\text{g/cm}^3)$	1.669
	最小乾燥密度 $\rho_{d\min}(\text{g/cm}^3)$	1.260

Table 2 試験条件
Testing conditions

Case	1	2	3	4	5	6
拘束圧 σ_0 (kPa)	50	50	50	50	50	50
乾燥密度 ρ_d (g/cm^3)	1.56	1.58	1.58	1.58	1.57	1.57
含水比 w (%)	7.34	7.44	7.35	7.24	7.31	7.49
間隙比 e	0.75	0.72	0.72	0.73	0.73	0.72

Case	7	8	9
拘束圧 σ_0 (kPa)	100	100	100
乾燥密度 ρ_d (g/cm^3)	1.57	1.58	1.58
含水比 w (%)	7.23	7.23	7.53
間隙比 e	0.73	0.73	0.73

*神戸大学大学院農学研究科 Graduate School of Agricultural Science, Kobe University **神戸大学農学部 Faculty of Agriculture, Kobe University

キーワード: 繰返し三軸試験・ベンダーエレメント試験・ポアソン比

2.3 繰返し三軸試験

試験条件は、不飽和状態でひずみ制御により供試体に $5 \times 10^{-5} \sim 10^{-3}$ の一定振幅の三角波を与え試験を行った。BE 試験と同様の拘束圧で、周波数は 0.005Hz, 0.01Hz, 繰返し回数は 3 回である。

3. 試験結果・考察

Fig.1 に BE から得られたせん断弾性係数，繰返し三軸試験で求められたヤング率から推定したせん断弾性係数，そして昨年度の中空ねじりせん断試験のせん断弾性係数を示している。得られたヤング率からせん断弾性係数を求めるために，適当なポアソン比 ν を推定し代入した。この結果，本研究から大体ではあるが $0.2 \sim 0.3$ の間に存在することが推定される。また Fig.1 では，昨年度の中空ねじりせん断試験から検討された初期せん断弾性係数との比較を行った。Fig.2 ではせん断弾性係数比 G/G_0 とせん断ひずみ γ の関係を比較している。これより BE 試験で peak-to-peak 法による人為的誤差，ノイズの関係により多少のバラツキはあるものの，それぞれの試験は不飽和土においても関連があり，また昨年度の中ひずみから推定した初期せん断弾性係数が妥当であったことも確認できる。

4. 結論

- (1) 本研究において，不飽和土のポアソン比 ν が $0.2 \sim 0.3$ の範囲にあることが推定できた。
- (2) 三軸圧縮試験，ベンダーエレメント試験，中空ねじり試験のせん断弾性係数比を比較した結果，霞ヶ浦砂の 3 試験によるせん断弾性係数 G がほぼ一致することがわかった。

引用文献: 1) 河端俊典他(2007): ジオシンセティックによる補強したため池洪水吐の動的挙動，ジオシンセティック論文集，第 22 巻，pp.243-248. 2) 内田一徳他 (2007): 繰返しねじりせん断試験による動的パラメータの検討，H19 年度農業土木学会大会講演要旨集 3) 柴田徹他 (1974): 砂質土中を伝播する S 波速度の応力依存性，第 9 回土質工学研究発表会

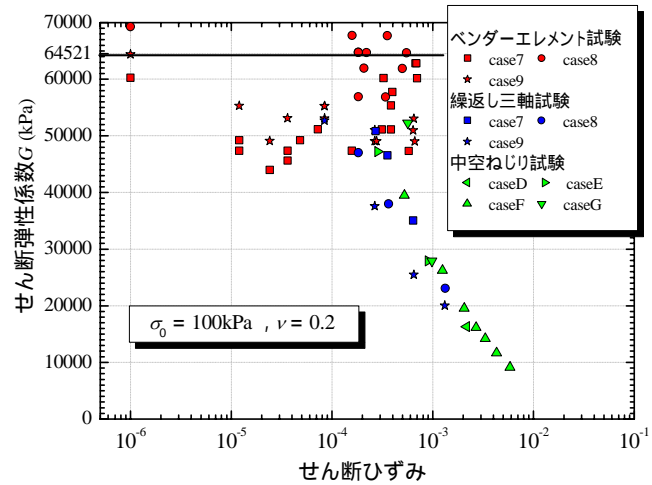


Fig.1(a) せん断弾性係数 G とせん断ひずみ γ の関係
Relationships between shear modulus and shear strain

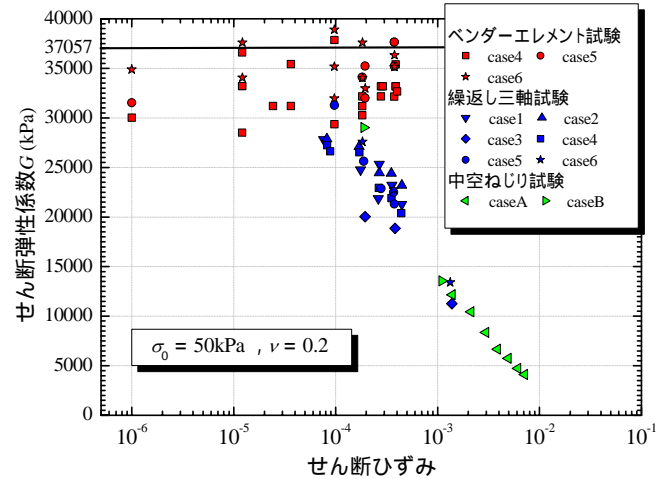


Fig.1(b) せん断弾性係数 G とせん断ひずみ γ の関係
Relationships between shear modulus and shear strain

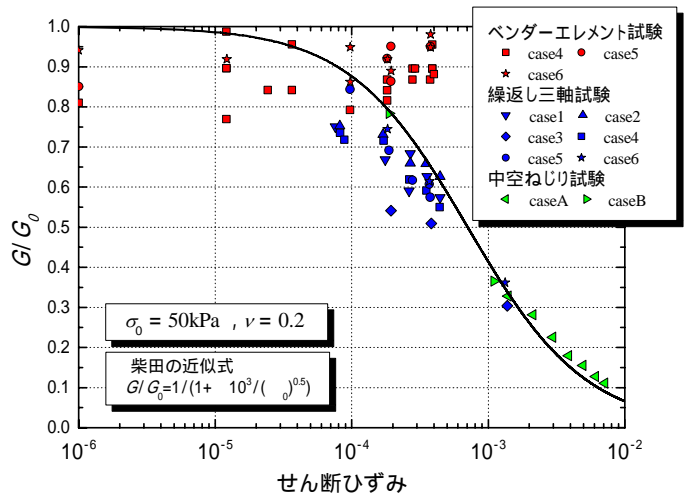


Fig.2 せん断弾性係数比 G/G_0 とせん断ひずみ γ の関係
Relationships between shear modulus ratio and shear strain