

大阪大学大学院工学研究科 正会員 鍋島 康之
 大阪大学大学院工学研究科 学生会員 竹田 英司
 大阪大学工学部 学生会員○新川 泰弘
 大阪大学大学院工学研究科 正会員 小田 和広
 大阪大学大学院工学研究科 フェロー 松井 保

1. はじめに

兵庫県南部地震以降、細粒分を含む土の動的せん断挙動が注目されている。これまで、飽和粘性土地盤については、砂地盤のように液状化しないためにあまり研究がされていなかったが、場合によっては繰返しせん断破壊を起こすことが判明してきており、その動的せん断挙動を調べることは重要なことである。本研究では、粘性土の動的せん断挙動を調べるために動的中空ねじりせん断試験機を製作し、繰返し粘土へ適用してその適用性を検討する。

2. 動的中空ねじりせん断試験機

図-1は動的中空ねじりせん断試験機の概要を示している。本試験機の特徴として、ねじりせん断力载荷装置に直動モーターを用いていることがあげられる。この直動モーターは高速度および高精度の位置決め制御が可能であり、直接トルクを载荷できるため、これまでの試験装置よりもシンプルな構造とすることが可能となっている。また、繰返しねじりせん断力の制御はドライブユニットを介してファンクションジェネレーターおよびパーソナルコンピューターにより行っている。そして、ねじりせん断力以外の応力は試験機の構造・操作の簡素化のため、すべて空圧により制御しており、特に軸荷重の载荷は複動式ペロフラムシリンダーにより行っている。

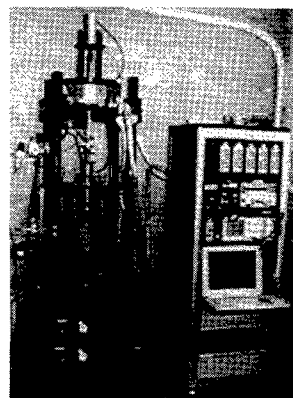


図-1 動的中空ねじり
せん断試験機

供試体は外径75mm、内径43mm、高さ150mmの中空円筒供試体を用いている。三軸セル内部には、軸荷重およびトルクが測定可能な2成分ロードセルが設置されており、軸受けの摩擦の影響を受けない構造となっている。キャップおよびペダスタルには刃付きボラスメタルが取り付けられており、供試体端部を拘束できるため、正確なねじりせん断力の伝達が可能である。また、キャップおよびペダスタルには一対のベンダーエレメントが取り付けられており、微小ひずみレベルにおけるせん断弾性係数の測定が可能である。

3. 動的中空ねじりせん断試験機の適用性の検討

3.1 実験条件および実験概要

試験試料は藤森粘土 ($\rho_s=2.67\text{g/cm}^3$, $I_p=62.5$) を繰返し、中空円筒供試体が作成しやすいように圧密圧力 588.6kPa で予圧密したものを用いた。繰返しねじりせん断試験は有効圧密圧力 98.1kPa (背圧: 98.1kPa) で等方圧密を行った後、繰返し周波数 0.1Hz の正弦波で応力制御による非排水繰返し载荷を行った。繰返しせん断力は 96kPa、繰返し回数は 20 回である。この際、安定した繰返し応力振幅を得るために、ねじりせん断力载荷・制御系統にフィードバックを行っている。

また、本試験機にはベンダーエレメントが取り付けられているため、供試体を破壊することなくせん断弾性係数の測定が可能である。本研究では、せん断弾性係数 G_b を次式により求めた。

$$G_b = \rho_t \cdot V_s^2 \quad (1)$$

ここに、 G_b : ベンダーエレメントにより測定したせん断弾性係数、 ρ_t : 土の湿潤密度、 V_s : せん断波速度である。せん断波速度 V_s を計算するためには伝達時間と伝達距離を求める必要があるが、それらの定義については統一的な見解が確立していないようである^{1), 2), 3)}。そこで、本研究では、伝達時間を入力波と受信波の第一

波の頂点間の時間とし、伝達距離をベンダーエレメントの先端間の距離とした。また、ベンダーエレメントの入力波形は正弦波とし、周波数は1000Hzに設定した。

3.2 繰返しねじりせん断試験結果

図-2は繰返し粘土の繰返しねじりせん断試験結果である。図-2(a)の繰返し応力波形を見ると、応力振幅はほぼ正確な正弦波であり、载荷回数が増加しても安定している。図-2(b)のせん断ひずみの経時変化では、せん断ひずみは载荷回数の増加とともに徐々に増加している。同様に、図-2(c)の過剰間隙水圧の経時変化においても、過剰間隙水圧は载荷回数の増加に伴って増加している。以上のことから、繰返しねじりせん断力の载荷および計測項目の測定は問題なくできていることがわかり、本試験機で粘性土の繰返しねじりせん断試験の実施が可能であることが確認された。

また、図-2(d), (e)のヒステリシスループおよび有効応力経路を見ると、载荷回数が増加するにつれてせん断剛性率および平均有効主応力が減衰していく様子があらわれている。そこで、ベンダーエレメントを用いて繰返し载荷前・後のせん断弾性係数を調べた。せん断弾性係数の測定は、等方圧密終了後と、繰返し载荷20回を行った後で測定を行った。表-1はそれらの測定結果を示している。その結果、等方圧密終了時のせん断弾性係数は52.7MPa、繰返し载荷終了時では42.9MPaとなり、繰返し载荷によりせん断弾性係数が劣化している。このようにベンダーエレメントを用いることにより、供試体を破壊することなく繰返し载荷による粘土のせん断弾性係数の劣化が測定可能である。

4. まとめ

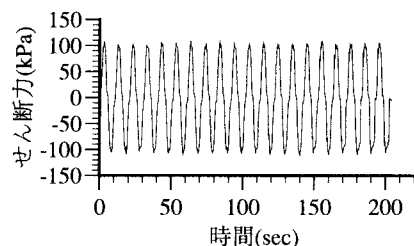
粘性土の動的せん断挙動を調べるために動的中空ねじりせん断試験機を製作し、繰返し粘土に適用してその適用性を検討した結果、本試験機は粘性土の繰返しねじりせん断試験の実施が可能であることが確認された。また、本試験機に取り付けられているベンダーエレメントを用いることにより、供試体を破壊することなく繰返し载荷によるせん断弾性係数の劣化が測定可能である。

表-1 せん断弾性係数測定結果の一例

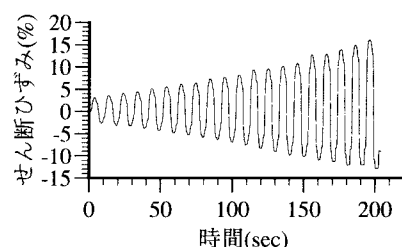
測定時	せん断波速度(m/s)	せん断弾性係数(MPa)
等方圧密終了時	168.6	52.7
繰返し载荷終了時	140.6	42.9

<参考文献>

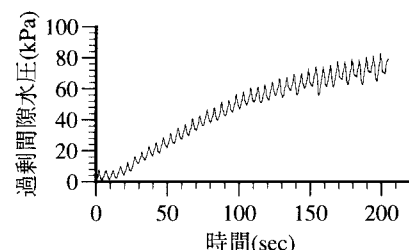
- 1) 田中洋行・田中政典・横山祐司：ベンダーエレメントによるせん断剛性率の測定，第29回土質工学研究発表会，pp.889～890，1994.
- 2) 後藤聡・森井慶行・岡本晋・末岡徹：ベンダーエレメントおよび繰返しせん断試験による砂のせん断剛性の測定，第33回地盤工学研究発表会，pp.709～710，1998.
- 3) 湯怡新・土田孝：大阪湾洪積粘土の微小変形特性について，第32回地盤工学研究発表会，pp.601～602，1997.



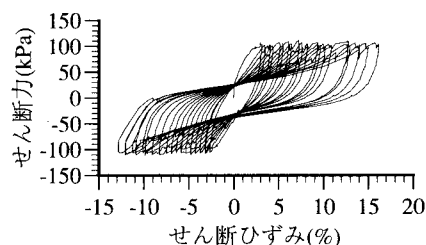
(a) 繰返しせん断応力波形



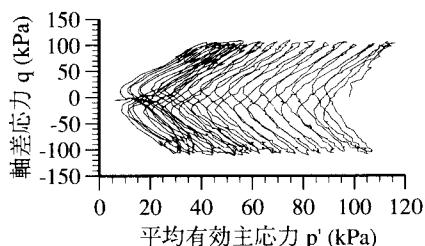
(b) せん断ひずみの経時変化



(c) 過剰間隙水圧の経時変化



(d) ヒステリシスループ



(e) 有効応力経路

図-2 繰返しねじりせん断試験結果