

液状化試験によって求まる土の動的変形特性

関東学院大学 正会員 規矩 大義
 関東学院大学大学院 学生会員 ○村上 実嘉子
 関東学院大学大学院 学生会員 山口 恵美

1. はじめに

地震時における地盤の応答性を調べることを目的とした動的変形特性試験は、微小ひずみ領域における計測技術の向上や装置の高性能化も相まって、非常に精緻な実験・研究が可能となってきた。しかし、液状化に代表される、地盤が破壊に至るような大ひずみ領域の動的変形特性については、未だに幾つかの問題点を抱えており、十分な試験法が確立されているとは言い難い。大ひずみ領域の動的変形特性は、従来の試験法でできる限り大きなひずみレベルまで試験を実施し、それより大きなひずみレベルについては、結果を整理した図から外挿して求めることも多かった。本研究では、動的な検討を行う際に必ず行われる液状化試験からの結果を用いて、中～大ひずみ領域の動的変形特性を簡略的に求める事を試みた。

2. 試験方法上の問題点

従来法では非排水状態で 11 波の一定振幅で繰返し载荷を与え、10 サイクル目のヒステリシスループからせん断弾性係数 G と減衰定数 h を求める。その後、一旦排水をし、次のステージに移行するのが一般的である。しかし、10 サイクル目以前に過剰間隙水圧が発生して剛性が低下してしまうことも考えられ、実際に大きな地震動が加わったときに必要とされる動的変形特性は、10 サイクル目の挙動ではなく、もっと低サイクル時の挙動であるはずである。また、各ステージ間で排水操作を行うことによって、供試体に体積変化を生じさせてしまう。ひずみレベルが小さな所ではそれほど問題視する必要性は低いが、最終ステージに近づき、液状化に相当するひずみレベルにおいては数%の体積変化が生じることもある。その場合、次のステージ载荷前に供試体は密実化し、初期状態と異なってくる可能性もある。図-1 には密度変化の様子を描いたイメージ図を示すが、密度の異なるひずみ依存性曲線上を乗り移りながら得られた結果を、この供試体の動的変形特性として求めていると考えられる。この様な密度変化が問題になるのは極めてひずみの大きい領域であり、等価線形解析の適用範囲においては、それほど問題にしなくてもよいという指摘もある。

3. 試験法と試験結果

実験は空圧サーボ制御の繰返し中空ねじりせん断試験機を用いて行った。試料には珪砂を用いた外径 1cm、内径 6cm、高さ 20cm の中空供試体を、相対密度 $Dr=40\%$ を目標に空中落下法で作成した。飽和後、背圧 $\sigma_{bp}=196\text{kPa}$ 、有効拘束圧 $\sigma'_c=49\text{kPa}$ で等方圧密した。载荷は液状化試験と同じように一定の応力振幅で繰返し载荷を行った。液状化の発生時点で载荷を止めるのではなく、計測器の限界に達するか、供試体が著しく変形して要素性が失われるまで载荷を継続した。応力比

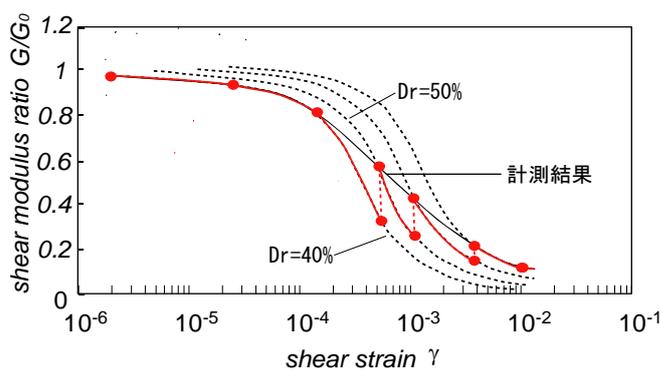


図-1 密度変化のイメージ図

が小さく、大ひずみ領域まで達しないケースでは、载荷途中で応力振幅を大きくした。せん断ひずみの測定には、微小ひずみ用としてセル内にギャップセンサーを配し、中～大ひずみ用としてセル外にポテンションメーターを設置した。せん断応力はセル内の 2 方向ロードセルによって測定した。図-2 は液状化試験の時刻歴データを示す。繰返し载荷の 1 波分の記録から得られる応力～ひずみ関係のループから、そのひずみレベルに対

キーワード 動的変形特性 液状化 中空ねじり試験

連絡先 〒236-8501 横浜市金沢区六浦東 1-50-1 関東学院大学 TEL:045-786-7144

せん断弾性係数 G と減衰定数 h を求めた。特性は全てのループから求めることが出来るが、実際にはある程度のひずみ間隔で求めている。時刻歴記録のハッチをしている部分から得られたヒステリシスループを図-3に示す。繰返し応力比が比較的小さいため、ひずみがある程度大きくなってもそれほどループに乱れやドリフトは見られないが、応力比が大きければ、ドリフト量は顕著になると思われる。ループの形状は、ひずみの小さな領域では骨格曲線の傾きは大きく、大きな減衰も見られない。図-4には、同じ試料を用いて、動的変形特性試験法で求めた結果のうち、代表的なひずみレベルの応力～ひずみ曲線を示す。図-3と見比べて、両者のループの形状にそれほど大きな違いはみられない。

4. 考察

図-5には、本実験で行った動的変形特性試験と液状化強度試験の両者から得られたせん断弾性係数 G を、初期せん断弾性係数 G_0 で正規化したものと、減衰定数 h をそれぞれのひずみ依存性曲線で示した。 G_0 は本来、 10^6 レベルの値を用いるべきであるが、計測精度上の問題から、今回は 10^4 レベルでの計測結果を用いた。 G は $\gamma=10^{-4} \sim 10^{-3}$ のひずみレベルで急激に低下しており、減衰も増加し始めている。これは供試体の過剰間隙水圧が発生し始めた時期と一致する。 $\gamma=10^{-3} \sim 10^{-2}$ レベルでは、 G の低下と h の増加は落ち着き、 G は初期の1/30以下まで低下し、減衰はピークを向かえている。その後も多少ではあるが G は低下し続け、 h は逆に減少していく傾向になった。また、この傾向は動的変形特性試験によって得られるひずみ依存性曲線とおおむね一致することがわかった。

5. おわりに

本研究では、動的変形特性試験を行うことなく、液状化試験によって、地盤の動的特性が得られるのかについて検討した。また、ステージ载荷による体積変化と密実化の影響も考慮に入れた試験結果を得ることができると考えられる。今回の試験結果から得られるひずみ依存性曲線を比較すると、減衰定数の特性については多少の差が生じた。しかし、減衰定数が地震応答解析に与える影響は少ない。対して、せん断弾性係数はほぼ一致した特性が求められ、さらに、大ひずみ領域では低下し続けている事が明らかになった。この領域でのせん断弾性係数の有用性については、まだ議論の余地があるが、 G が一定と仮定するのと、 G が低下すると仮定するのとでは地震応答解析の結果に大きな影響が生じることも考えられる。なお、本研究は文部科学省・学術フロンティア推進事業の補助を受けて行われたものである。

参考文献 1)H. Kiku & N.Yoshida: Dynamic Properties of soil due to Liquefaction, 11WCEE, 1993.

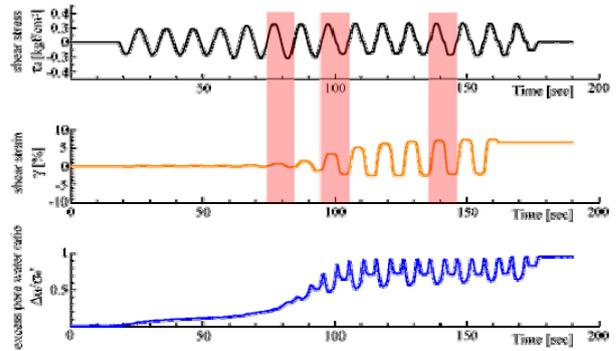


図-2 液状化試験の時刻歴データ

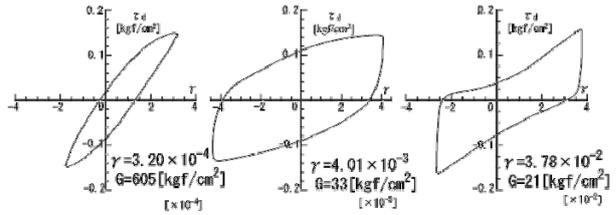


図-3 液状化強度試験から得られた
応力～ひずみ関係

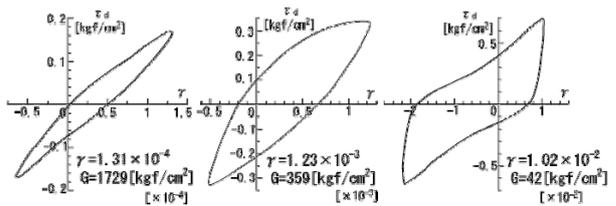


図-4 動的変形特性試験から得られた
応力～ひずみ関係

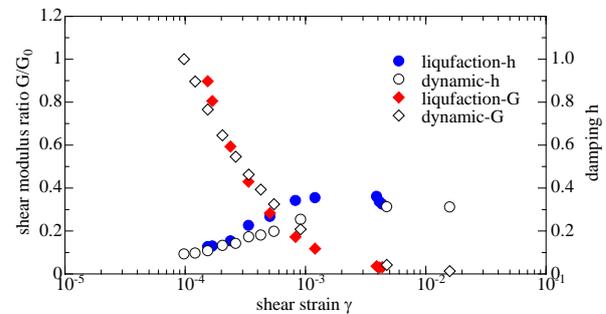


図-5 G , h ひずみ依存性曲線