

大ひずみ領域における砂の動的変形特性の検討

防災科学技術研究所 正会員 中澤 博志
 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 中根 美香

1. はじめに

地震時の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膨大な試験実績があり、特に微小ひずみ領域における動的変形特性試験は局所ひずみの測定や荷重測定の技術の向上や、ベンダーエレメントを始めとする非破壊試験技術が発達してきた。一方、近年ではレベル2地震動対応で入力地震動の大きさは飛躍的に大きくなり、その結果、計算上生じる地盤のひずみも大きくなり、図-1に示す大ひずみ領域である地盤の非線形性が顕著となるような $\gamma = 1\%$ のひずみレベルまでが検討対象になってきた。大ひずみ領域の動的変形特性については、大ひずみ領域外挿しているのが現状であるが、このような動的変形特性を用いて解析を実施すると現実の地盤応答と一致しない場合がある。また、大ひずみにおける土の挙動は非排水繰返し試験等により把握できる。

以上より、大ひずみ領域の $G/G_0 - \gamma$ 関係の評価するため、豊浦砂における既往の動的変形試験結果と単調載荷試験、繰返し三軸試験結果を比較し整理したので報告する。

2. 試験概要

試料は豊浦砂 ($G_s = 2.652$, $D_{50} = 0.18\text{mm}$, $e_{\max} = 0.968$, $e_{\min} = 0.609$) を使用し、供試体 ($\phi 60\text{mm}$, $h120\text{mm}$) は三軸試験装置にモールドをセットし、空中落下法により $Dr = 30, 50, 80\%$ の相対密度になるように落下高を調整し作製した。脱気水を供試体に通水し完全に飽和させた後、単調載荷は非排水・ひずみ制御 ($0.1\%/min$) により、また、非排水繰返し三軸試験は 0.1Hz のサイン波により実施した。なお、両三軸試験結果の整理は、軸ひずみ ϵ_a をせん断ひずみ γ に変換し整理した。

3. 試験結果

図-2に動的変形試験結果を示す。同図の結果は通常の動的変形特性試験により求められた結果であるが、満足に得られる最大ひずみは $\gamma = 1\%$ 程度までであることがわかる。図-1にも示す様にひずみが大きくなるとダイラタンシーの影響が顕著になり、また、ステージテストであ

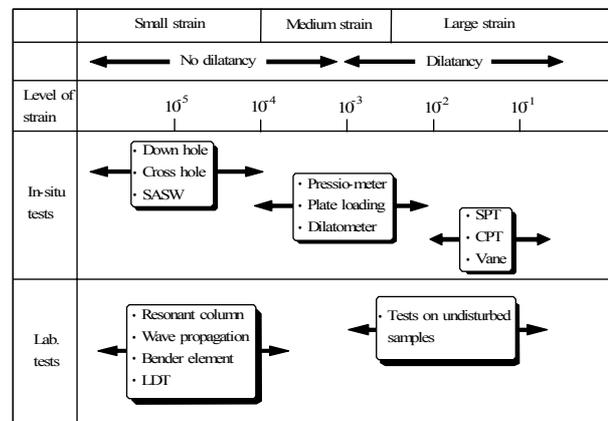


図-1 ひずみレベルと各試験方法

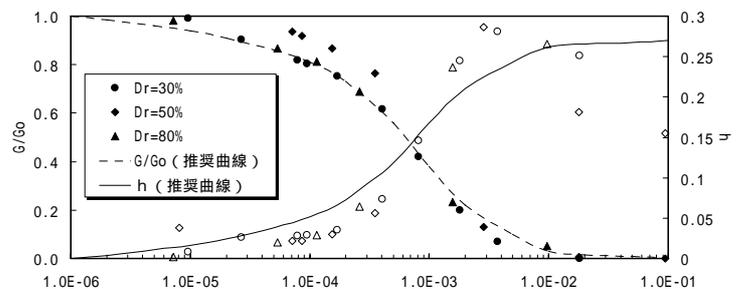


図-2 動的変形特性（豊浦砂）

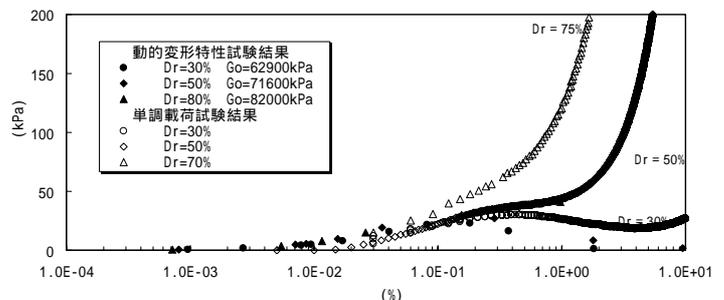


図-3 単調載荷試験と動的変形特性試験結果の比較

キーワード：動的変形特性，液状化，非排水せん断挙動

兵庫県三木市三津田西亀屋 1501-21 (独) 防災科学技術研究所 Tel 0789-85-7962 Fax 0789-85-7994

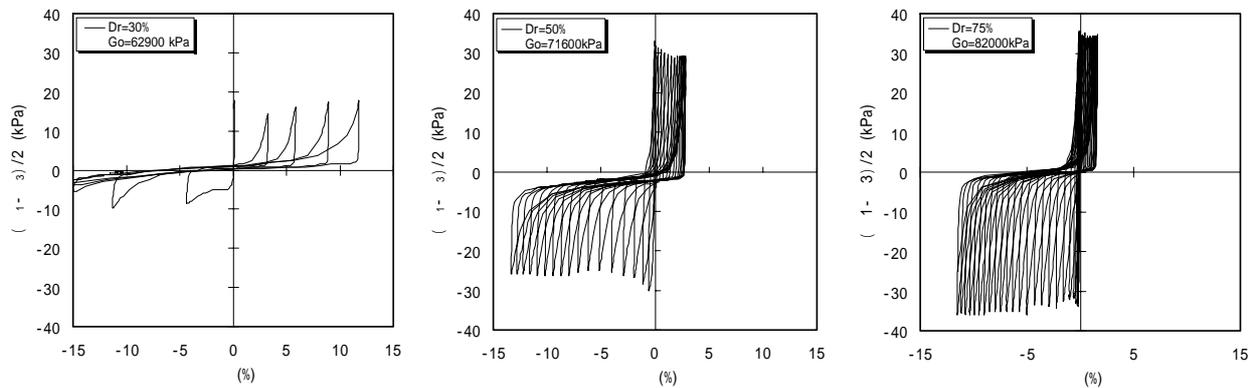


図-4 非排水繰返し三軸試験結果（DA 1%における応力-ひずみ関係）

っても載荷を繰返すたびにひずみ振幅が大きくなり、従来の整理方法ではデータを求めることが困難となってくる。一方、液状化の判定として良く用いられるひずみの大きさは、三軸試験で両ひずみ軸振幅が DA = 5% であり、せん断ひずみに換算すると $\gamma = 7.5\%$ 、すなわち片振幅ひずみで 3.75% となる。したがって、動的変形特性試験で得られる $\gamma = 0.10 \sim 1\%$ のひずみ領域から液状化に至る $\gamma = 4\%$ 程度のひずみ領域までの中間の実験データが欠落しており、その挙動に関する詳しいデータがほとんど無いのが現状である。

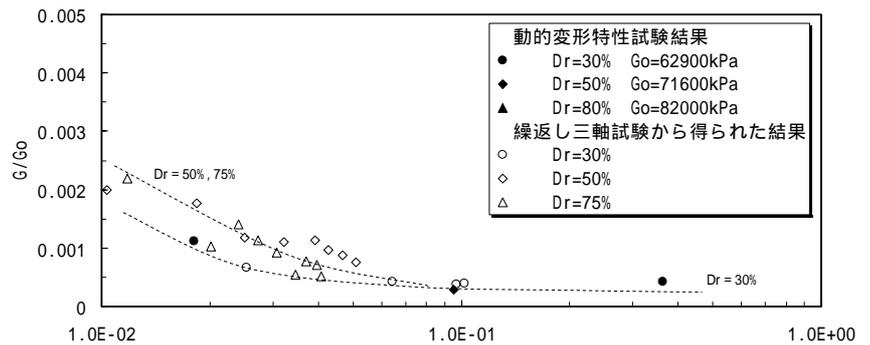


図-5 非排水繰返し三軸試験結果から求めた大変形時動的変形特性

図-3 に単調載荷試験から得られた応力-ひずみ関係を示す。また $G/Go \sim \gamma$ 曲線の個別の点は、あるひずみレベルにおけるせん断弾性係数を表わしているため、 γ と G を掛け合わせるにより個別の点のひずみにおけるせん断応力を求めることができ、このようにして整理した結果も図-2 に併記した。なお、初期せん断弾性係数 Go については、ベンダーエレメントにより計測された V_s より求め、図中に示した通りである。単調載荷試験結果を見ると、 $Dr = 30\%$ における応力-ひずみ関係は $\gamma = 3 \times 10^{-1}(\%)$ においてピークを示し、その後、準定常状態を経てせん断応力が回復している。また、 Dr が 50% 、 75% と大きくなると単調せん断挙動は次第に膨張性を示しせん断剛性を回復してくる挙動を示した。一方、動的変形特性から求めた応力-ひずみ関係を見ると、 $Dr = 30\%$ では $\gamma = 2 \times 10^{-1}(\%)$ でピークを示し、その後軟化しており単調載荷試験の結果と同様にダイレイタンスの傾向が類似している。全体的な傾向としては、 $\gamma = 1 \times 10^{-1}(\%)$ 前後の中ひずみ領域において両試験方法から得られた応力-ひずみ関係が比較的良く一致しているのがわかる。

図-4 に非排水繰返し三軸試験結果における変形が顕著になったとき (DA 1%) の応力-ひずみ関係のヒステリシスループを示す。 $Dr = 30\%$ においては初期液状化に到達後、突発的に大変形を起こすが、 Dr が大きくなるとひずみが大きい範囲でも徐々に変形が進展している様子がわかる。同図より、ひずみレベルの大きなサイクルのループの変曲点から、各ひずみレベル毎のせん断弾性係数を求め Go で正規化した。図-5 に大ひずみ領域 ($\gamma = 1\%$) における動的変形特性を示す。動的変形特性試験結果と比較すると整合性が取れており、供試体が液状化挙動を示してもせん断剛性の低下を明示することが出来た。

4. まとめ

大ひずみ領域を対象に非排水単調載荷試験を整理した結果、通常動的変形特性試験で求めるのが困難である $\gamma = 1.0\%$ の範囲においても、せん断弾性係数が若干低下してくることがわかり、中～大ひずみ領域の動的変形特性を単調載荷や繰返し試験によって求め得る可能性があることがわかった。