

佐藤工業（株）中央技術研究所 正 規矩 大義
正 吉田 望

1. はじめに

地震時の土の応答特性を調べることを目的とした動的変形特性試験は、これまでに数多くの試験機関で行われてきている。特に、微小ひずみ領域の変形特性の実験は計測技術の発達も相まって、精緻な実験・研究が可能となってきた。しかし、地盤が破壊（液状化）に至るような大ひずみ領域における試験は、主にこの試験の目的が液状化以前の地震応答に着目していたことや、結果整理の都合上、試験機・計測器等の制約から、あまり行われていない。また、実務面においても、等価線形解析（例えば shake）を行なう際に、あるひずみ以上のせん断剛性や減衰を一定値にしておく方が収束性の問題から有利なことから、大ひずみ領域の動的変形特性は外挿されることが多かった。しかし、入力地震動が大きくなり、非線形性が顕著となるひずみレベルまで解析の対象になってきたことや、本来の $G \sim h$ 関係を満足させ得る非線形解析手法が普及してきたことから、大ひずみ領域の動的変形特性を明らかにする必要性が高まっている。本研究では、豊浦砂を用いて、供試体が液状化に至るような大きなひずみ領域まで繰返し载荷を行ない、 $G \sim h$ 試験の整理法に従って、大ひずみ領域の $G \sim \gamma$ 、 $h \sim \gamma$ 特性を求めた。

2. 実験方法

実験は繰返しねじりせん断試験装置を用いて行った。試料には豊浦砂を用い、外径 10cm、内径 6cm、高さ 10cm の中空供試体を相対密度 $D_r=30\%$ を目標に空中落下法で作成した。有効拘束圧 $\sigma'_v=0.5\text{kg/cm}^2$ で等方圧密を行った後、各ステージでは非排水状態で 11 波の繰返し载荷を段階的に与え、応力～ひずみ関係を求めた。また、各ステージ間では、一旦排水状態にして過剰間隙水圧を消散させた。せん断ひずみの測定は、微小ひずみ用としてセル内に設置したギャップセンサーと、中ひずみ、大ひずみ用としてセル内、外に設置した回転角計を用いた。せん断力はセル内の 2 方向ロードセルで測定している。等価せん断弾性係数 G_{eq} と減衰定数 h は、各ステージとも 10 サイクル目のループより求めている。但し、ひずみレベルが大きくなり、10 サイクルの载荷途中に供試体が液状化してしまう条件のもとでは、少ないサイクル数のループを用いて G と h を求めている。

3. 実験結果

図-1には、小、中、大ひずみ領域の代表的なステージにおける応力～ひずみ履歴曲線の一例を示す。小ひずみ領域ではループは直線的で減衰も非常に小さいが、中ひずみ領域になるとループが膨らみを帯びてきて、減衰も大きくなっている。この結果は、これまで行われた他機関の実験結果とも整合している。大ひずみ領域になると供試体は液状化に達し、応力～ひずみ曲線は紡錘形になる。

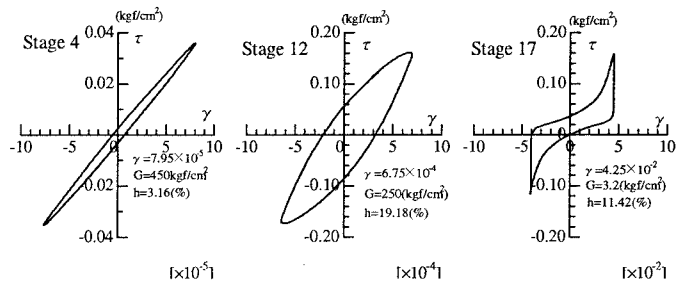


図-1 代表的な载荷ステージにおける応力～ひずみ関係

キーワード：動的変形特性試験、大ひずみ領域、中空ねじり、ひずみ依存性、液状化

連絡先： 佐藤工業（株）中央技術研究所 土木研究部（〒103 東京都中央区日本橋本町4-12-20、TEL 03-3661-2298、FAX 03-3668-9481）

液状化の影響でせん断剛性は非常に小さくなり、減衰も逆に小さくなっていく。図-2には2つの供試体 ($e=0.842, 0.835$) に対する、せん断弾性係数 G と減衰定数 h のひずみ依存性曲線を示す。両ケースの初期せん断弾性係数 G_0 ($\gamma=1 \times 10^{-5}$) は、それぞれ 500、506 (kgf/cm^2) であった。せん断弾性係数は $\gamma=10^{-4}$ 付近のひずみレベルから低下しはじめ、 5×10^{-4} 付近でおよそ初期の 1/2 となる。供試体が液状化状態に達した $\gamma=2 \times 10^{-2}$ 付近では、1/100 程度の剛性比となっているが、その後も一定値ではなく、若干ながら低下していく。一方、減衰率の方は、 $\gamma=10^{-4}$ 付近のひずみレベルから徐々に増加しはじめ、 $\gamma=10^{-3}$ あたりでピークを迎えるまでは、既往の研究結果と同じ傾向である。それよりひずみが大きくなると、減衰率は逆に低下していく結果となった。

4. 考察

図-3には、実験から得られた $G \sim \gamma$ 関係をもとに、応力～ひずみ関係に書き直したものを示す。 $\gamma=10^{-3}$ 付近でピークを迎え、その後、供試体が軟化して応力が低下していくが、 $\gamma=3 \times 10^{-1}$ ($\gamma=3\%$) を超えるあたりから、剛性が回復してくる。これは、非排水の静的せん断における、正負のダイラテンシーの影響と同じ傾向である。そこで、ほぼ同じ密度を持つ供試体に対する、単調載荷試験を行ない、図-3の結果と比較したもの(対数軸)を図-4に示す。今回は1ケースのみしか行っていないが、動的特性試験の結果と静的載荷試験の結果は、その応力～ひずみ関係の傾向がよく一致することが明らかになった。

5. おわりに

大ひずみ領域における動的特性試験を行ない、地盤が液状化に至るようなひずみレベルでの動的特性を求めた。また、動的特性試験の結果と静的試験の結果は調和的であることが明らかになった。ただし、ひずみレベルが大きくなると、各載荷ステージ間の排水量が多くなり、供試体はかなり密実化してゆくこともあって、こうした関係についても実験結果を蓄積して検討したい。

参考文献

委員会報告:地盤および土構造物の動的問題における地盤材料の変形特性に関する国内シンポジウム発表論文集、平成6年1月、土質工学会

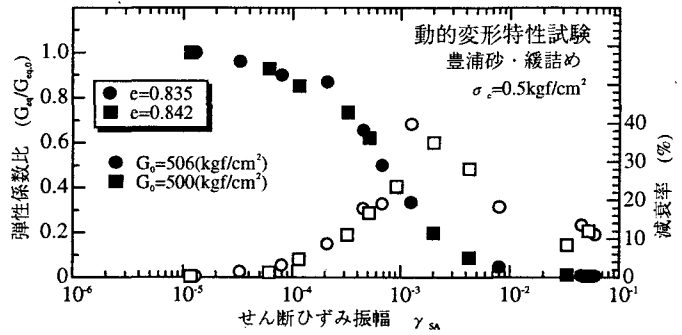


図-2 G、hのひずみ依存性曲線

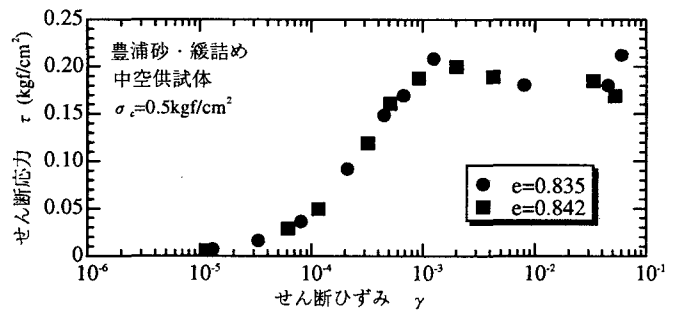


図-3 動的特性試験から得られた応力～ひずみ関係

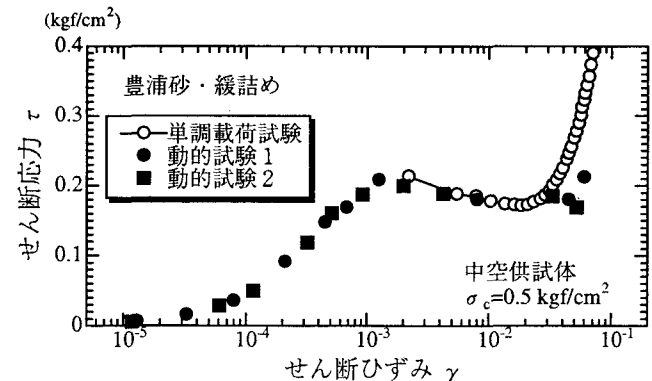


図-4 静的載荷試験との応力～ひずみ関係の比較