

Ⅲ－41

砂の繰返しせん断挙動から見た1G場模型振動実験の解釈

東北大学 学生員 ○目黒 寛 山口 晶
東北大学 正会員 風間 基樹 柳沢 栄司

1. はじめに

地震時の地盤の液状化に伴う地盤-構造物系の被災変形量を検討するため、模型振動実験が行われる。模型振動実験の結果から実構造物の挙動を検討する際には相似則が用いられる。現在、1G場の振動実験に適用可能な相似則は、模型と実物のひずみの比が拘束圧の0.5乗に比例する¹⁾と仮定して求められたものである。この相似則の妥当性は、比較的ひずみレベルの小さい動的変形特性試験によって確かめられているが、繰返しせん断特性、残留ひずみ、ダイレイタンス特性については、その妥当性が実験的に確かめられていない。本研究では繰返しせん断を受ける飽和砂に発生するせん断変形特性を検討した。具体的には様々な拘束圧のもとで繰返しせん断試験を行い、拘束圧の違いとせん断ひずみ、残留ひずみ、間隙水圧の発生量の関係を調べた。また、地盤は初期せん断を受けている場合もあるため初期せん断を受ける場合も検討した。

2. 実験概要

実験は2重負圧法によって拘束圧を与える簡易単純せん断試験機²⁾を用いた。供試体サイズは $\phi 60 \times H20\text{mm}$ である。試料はDrが55-65%となるように空中落下法により作成した豊浦砂である。

(1)入力波形の決定

入力する応力波形を決定するため、拘束圧が 0.8kgf/cm^2 (78.4kPa)のもとで正弦波1サイクル毎にひずみ振幅が0.6, 1.2, 2.4, 4.8, 9.6%と漸増していくひずみ制御漸増試験を行った。この試験によって得られた応力波形を他の拘束圧の実験での入力波形とした。入力波形の決定においてひずみ漸増試験を行ったのは、ひずみ漸増試験で得られた応力波形を入力することで、応力制御試験で得られるひずみがひずみ漸増型の波形になることを期待したためである。これによって広範なひずみレベルでの比較が可能となった。

(2)応力制御繰返しせん断試験

拘束圧を変えて繰返しせん断試験を行う際に、各拘束圧で応力比が等しくなるような応力波形を用いた。つまり拘束圧 0.1kgf/cm^2 で実験するときは、(1)で得られた応力波形の振幅を1/8倍する事になる。なお、初期拘束圧は0.1, 0.2, 0.3, 0.4, 0.6, 0.8, 0.9kgf/cm^2 の7種類に変化させ、非排水条件と排水条件の2通りで実験を行った。図-1に入力した応力比波形を、図-2に代表的な応力-ひずみ関係を示す。

(3)初期せん断を加えた応力制御繰返しせん断試験

一般に地盤は初期せん断応力を受けているため、初期せん断を加えた供試体についても(2)と同様の実験を行った。加えた初期せん断応力は基準となった応力波形の最大応力の10%とした。その他の条件は(2)と同じとした。

3. 結果及び考察

図-3はひずみ振幅と初期有効拘束圧の関係である。ここで、ひずみ振幅とは図-2に示したように応力が半サイクル作用したときのひずみの発達量を取ったものである。図-3(a)に示した回帰曲線によると、非排水試験での1波目のひずみは初期拘束圧のべき乗に比例した。しかし、2・3波目以降、過剰間隙水圧が上昇してひずみが増大するにつれ、実験値は明確な比例関係でなくなってくる。その様子を図-3(b), (c)に示す。排水試験の場合は過剰間隙水圧が発生しないため、図-3(a'), (b'), (c')に示す通りに終始同じ様な傾向が見られ、拘束圧の0.5～1.0乗に比例していた。

図-4はトータルの残留ひずみと初期有効拘束圧の関係である。ここで、トータルの残留ひずみとはせん断開始点から最後にせん断応力がゼロになったときに残留したひずみをいう(図-2参照)。図-4(a)から、非排水試験の場合、最終的に残留するひずみは初期拘束圧と正比例というより、反比例の関係が見られる。ただし、図示していないが、過剰間隙水圧比が0.6～0.8発生する前までは初期せん断を加える加えないに関わらずサイクル毎の残留ひずみが有効拘束圧の0.5～1.0乗に比例するという傾向を示した。一方、図-4(b)より、排水試験では最終的に残留するひずみが初期有効拘束圧に正比例する傾向が見られた。

図-5(a), (b)は5波目の割線せん断剛性と初期有効拘束圧の関係である。これを見ると初期有効拘束圧が大き

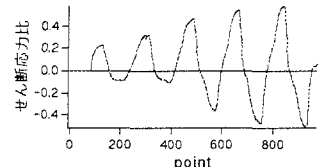


図-1 入力した応力比波形

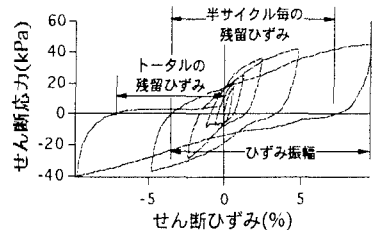


図-2 代表的な応力-ひずみ関係

いほどせん断剛性が大きく出る傾向にあるというのが分かる。この傾向は非排水試験では初期せん断のある方がない方より顕著であり、排水試験では逆に初期せん断を受けない方が顕著であった。

図-6は非排水試験における3つの拘束圧での過剰間隙水圧比の上昇の経過の違いを表している。これより、各拘束圧ではダイレイタンシー特性が相似になっておらず、初期拘束圧が大きいほど過剰間隙水圧が発生しにくくなるのが分かった。すなわち、非排水試験の場合に、過剰間隙水圧の上昇後、せん断ひずみや残留ひずみに傾向が見られなくなるのは、各拘束圧でのダイレイタンシー特性が違いため、間隙水圧の上昇過程も異なり、ひずみの発達の仕方が異なってしまったためであると考えられる。すなわち模型実験のように異なる拘束圧で実験する場合、地盤の受ける応力状態や荷重条件を相似にするだけでなく、地盤のダイレイタンシー特性も相似の関係になっていなければ、模型と実物が相似な関係であるとは言えないことになる。

一方、排水試験の場合は過剰間隙水圧が上昇しないため、模型と実物での応力比が等しければ、2つの地盤の応力-ひずみ関係は拘束圧によって相似関係が成立する可能性もある。

4. まとめ

(1)過剰間隙水圧が上昇しない条件では、ひずみが初期有効拘束圧のべき乗に比例すると言ってよい。厳密には0.5乗ではないが、その差は無視できるレベルである。ただし、過剰間隙水圧が上昇、あるいはひずみが非常に大きくなると、傾向は見られなくなる。

(2)非排水条件の場合、トータルの残留ひずみは初期有効拘束圧と反比例の関係であった。

(3)以上の結果は単に応力状態を相似にしても拘束圧によってダイレイタンシー特性が異なるためと理解される。

<参考文献>

- 1)S. Iai : Similitude for Shaking Table Tests on Soil-Structure-Fuluid Model in 1g Gravitational Field, Soils and Foundations Vol.29, No.1, pp.105-118, 1989
- 2)日下部伸, 森尾敏, 岡林巧, 藤井照久, 兵動正幸 : 簡易単純せん断試験機の試作と種々の液状化試験への適用, 土木学会論文集, No.617/ III-46, 1999

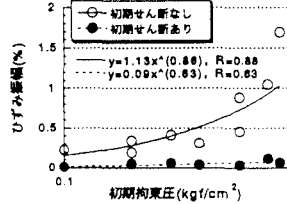


図-3(a) 非排水試験1波目

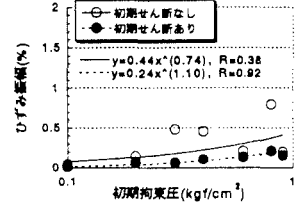


図-3(a') 排水試験1波目

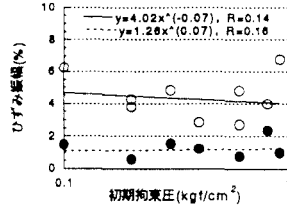


図-3(b) 非排水試験3波目

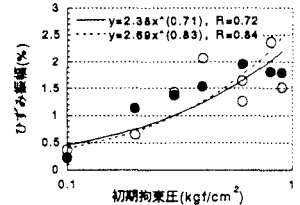


図-3(b') 排水試験3波目

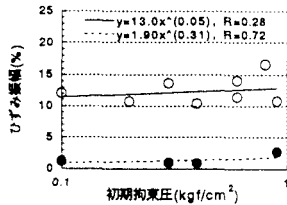


図-3(c) 非排水試験5波目

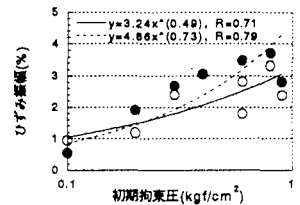


図-3(c') 排水試験5波目

図-3 ひずみ振幅と初期有効拘束圧の関係

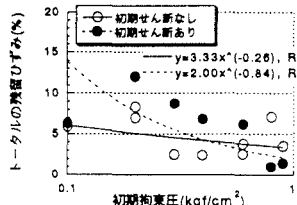


図4-(a) 非排水試験

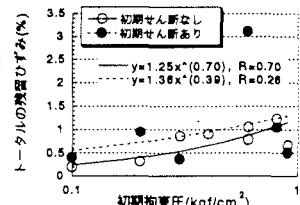


図4-(b) 排水試験

図-4 トータルの残留ひずみと初期有効拘束圧の関係

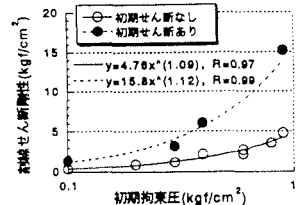


図5-(a) 非排水試験5波目

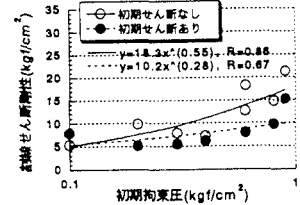


図5-(b) 排水試験5波目

図-5 割線せん断剛性と初期有効拘束圧の関係

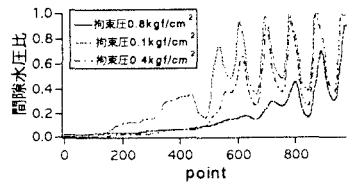


図-6 間隙水圧比の比較