

中空ねじりせん断試験機を用いた水膜生成メカニズムの基礎的研究

中央大学 鈴木 広太
中央大学 國生 剛治
中央大学 吉川 太郎
中央大学 岸本 隆

1. はじめに

地震の震動終了後における大規模な側方流動の一因として、成層構造をなす砂地盤の液状化によって生成される水膜が考えられる¹⁾。水膜による流動メカニズムについては、模型実験での検討²⁾は既に行われているが既存の要素試験による研究は現在までに見られない。これは既存の試験法では液状化に伴う間隙の再配分や水膜の生成を考慮していないためである。そこで中空ねじりせん断試験機により、低透水層直下の砂要素の液状化挙動をシミュレートする試験法（定形状試験と呼ぶ）を開発し、豊浦標準砂を対象とした非排水繰返しせん断試験を行った。本文ではその試験結果について述べ、さらに砂の相対密度が水膜の生成を引き起こす砂のせん断挙動と沈降にどう関わっているかについて考察した。

2. 試験概要

図1に本研究で用いる空圧制御式中空ねじりせん断試験機の概要を示す。空圧式ペロフラムシリンダーの制御にはEP制御に比べ応答性の良いサーボ弁を採用している。図2に水膜試験における中空円筒供試体と成層構造をなす砂地盤との関係を示す。载荷により供試体が液状化しても低透水層は短時間には沈下できない。その間、緩詰めめの砂粒子は沈下・再堆積しようとする。原地盤での低透水層に相当する上部载荷盤直下に水膜が生成されると予想され、それまでの砂の挙動を観察・測定することが本研究の目的である。このために新たに定形状試験として以下のような改良点を加えている。1)液状化時に供試体の沈下による形状変化を抑えるために上部载荷盤の鉛直変位を拘束する。2)同じく側方変位を拘束するために供試体外セル側にラップフィルムを巻く。3)水膜の生成を鮮明に捉えるために内セル内部に発光ダイオードを用いたライトを入れる。

供試体は豊浦標準砂を空中落下によって相対密度 $Dr=20 \sim 60\%$ になるように調整して作成、有効拘束圧 $\sigma'_c=98\text{kPa}$ で等方圧密した。せん断応力 τ_d は応力制御によって、周波数 $f=0.01, 0.1, 1.0\text{Hz}$ 、動的せん断応力比 $\tau_d/\sigma'_c=0.2$ の正弦波を与え、鉛直・側方変位を拘束した非排水繰返し载荷試験を行った。

3. 試験結果

図3は $Dr=39\%$ の豊浦標準砂を $f=0.1\text{Hz}$ 、 $\tau_d/\sigma'_c=0.2$ の条件で試験した結果についての応力—ひずみ曲線である。図中の液状化点とは過剰間隙水圧が100%にまで上昇した点を示している。試験では水膜の生成が供試体上部に全面的に確認できた時点で载荷を終了した。繰返し载荷するとせん断ひずみは液状化点付近から数回の载荷で、载荷装置の振り幅の限界である両振幅ひずみお

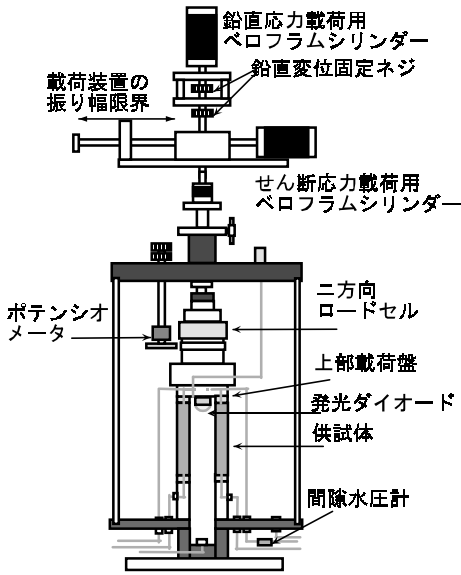


図1 試験機概要

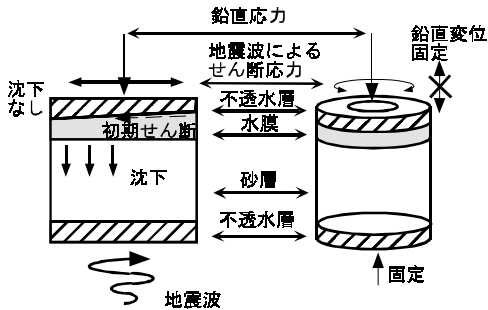


図2 原地盤と供試体の対応関係

キーワード：水膜、側方流動、中空ねじりせん断

よそ 25%に達して頭打ちとなる。液状化点を越してからさらに繰り返し载荷を続けると、やがて、ひずみ振幅の増加に対する応力の回復がほとんど見られなくなる。定形状試験においては供試体上部に水膜もしくは間隙の非常に大きな部分が形成されると、上部载荷盤が供試体の抵抗を受けなくなることにより、せん断応力が計測されなくなる。しかしながら応力—ひずみ曲線は最終的に僅かな勾配をもっている事が見てとれ、これはメンブレンがねじられることによって発生する張力などが計測されるためと考えられる。これらのことから低透水層と砂層の間に水膜が生成されると、せん断ひずみの増大による摩擦抵抗がなくなり、大規模な流動が起きる条件が満たされている事がわかる。

図4は図3に示すような応力—ひずみ曲線が強度回復を示さなくなるまでの繰り返し载荷回数と相対密度の関係を $f=1.0\text{Hz}$ について表している。データ数に限りがあるものの、 $Dr=40\sim 50\%$ 付近から载荷回数が急激に増加して、全体的に曲線的な傾向を示していることがわかる。一方、破線で示したものは両振幅ひずみ $\gamma_{DA}=7.5\%$ に達したときの相対密度と载荷回数の関係を別の記号で表し、近似線を引いたものである。両振幅ひずみ 7.5% に達するまでの载荷回数は相対密度に対して線形的に増加していることが見てとれる。この2種類の関係の比較から $Dr=40\sim 50\%$ 以下では、液状化して大ひずみが生じてから载荷中に砂の沈降がはじまって、供試体上部に水膜が生成され、それによってほどなく供試体の抵抗が载荷盤に伝わらない状態になると考えられる。一方、 $Dr=50\%$ 以上では大ひずみに達してからも砂のダイレイタンシー効果によって有効応力が回復し、計測されるせん断応力の回復が生じなくなるまでの载荷回数が多くなるものと考えられる。

4. まとめ

- ・鉛直及び側方変位を拘束することで、低透水層に対応する上部载荷盤の直下に水膜の生成を確認できた。
- ・液状化後に多少時間をおいて水膜が生成された後では、大ひずみ振幅においても応力の回復が見られなくなる。このことは水膜の生成により大規模な側方流動が生じるメカニズムの説明と成りうる。
- ・ $f=1.0\text{Hz}$ の試験によれば、液状化してからせん断応力の回復が見られなくなるまでの回数は $Dr=40\sim 50\%$ 以上では急激に増加する。

【参考文献】

- 1) 國生剛治：砂層の成層構造による液状化時の水膜生成と地盤への影響：応用地質，第41巻，第2号，2000年6月
- 2) Kokusho, T.: Water film in liquefied sand and its effect on lateral spread, journal of GE, ASCE VOL 125, No. 10, pp817-826, 1999

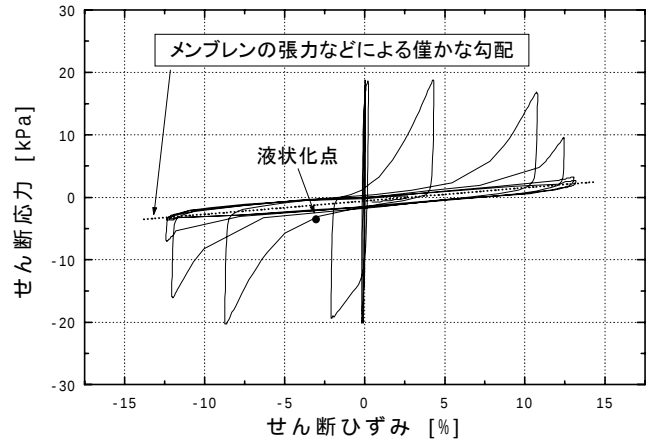


図3 応力—ひずみ関係

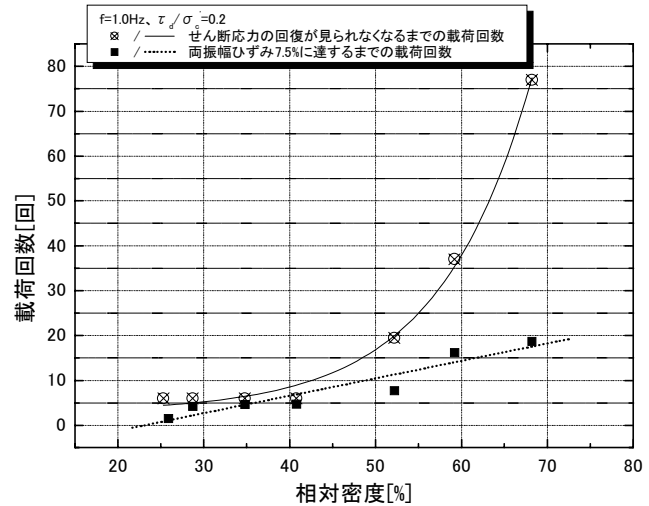


図4 応力の回復がなくなるまでの载荷回数と相対密度の関係