

液状化土の粘性評価とそれに基づく液状化地盤の側方流動シミュレーション

早稲田大学 学生会員 伊藤 健  
 早稲田大学 学生会員 川村 淳  
 早稲田大学 正会員 赤木 寛一

1. 研究目的

地震時の地盤災害の一つに、地盤の液状化とそれともなう側方流動が挙げられる。この液状化ともなう側方流動による変位は10m以上にもなる例があり、液状化層のせん断ひずみは数10%から100%を超えている。このように地盤が大変位を起こすことで、構造物の杭基礎などが破断して大きな被害を受ける。大都市の大部分は液状化の起きやすいゆるい堆積地盤の上に存在しているため、側方流動による都市の構造物への被害は計り知れないものがある。液状化に伴う側方流動現象のメカニズムを解明し、この現象に対する対策を行うことが耐震工学上の重要課題となっている。

本研究では中空ねじりせん断試験により液状化土のねじりせん断抵抗を測定し、液状化土を粘性流体と見立てたときの粘性係数を求めることで液状化土の粘性評価を行った。その結果をもとに、有限要素法を利用して神戸、ポートアイランドにおける埋立て地盤の地震時の側方流動シミュレーションを試みた。

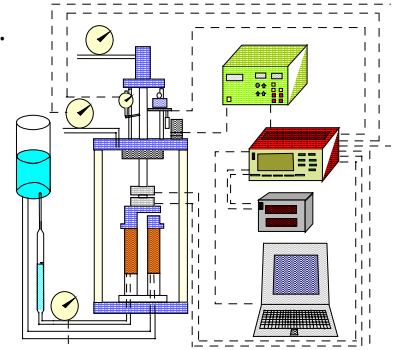


図1 実験装置

2. 中空ねじり試験概要

(1) 試料

試料には豊浦標準砂を用いて、高さ10cm、内径3cm、外径7cmの中空円筒形供試体で実験を行った。また供試体は空中落下法を用いて作成し、繰り返しせん断試験開始直前の供試体の相対密度が40%になるよう実験的に砂の乾燥状態の質量を決定した。

(2) 実験装置

本実験ではモーターでひずみ速度を一定に保ちせん断を行うひずみ制御方式の試験機と空気圧による载荷でせん断を行う応力制御方式の試験機を用いて試験を行った。ひずみ制御方式においては、ゴムスリーブの張力が得られた実験データに対して大きく影響しているという問題点を解決するため、ペDESTALの外周部をトップキャップのねじりせん断と同期させて回転する構造にし、ゴムスリーブをねじることなく試験を行った。実験データとして軸圧、軸変位、トルク、回転変位、側圧、間隙水圧の6項目をデジタル動ひずみアンプ計を用いて測定した。概要は図1に示す。

(3) 供試体作成方法

中空ねじりせん断試験では载荷前の圧密によって供試体の相対密度が変化してしまうことから実験的に推定された圧密量を用いてあらかじめ乾燥質量を実験条件によって変化させた供試体を作成し実験を行った。圧密終了後の目標相対密度は40%で、ほとんどのケースで誤差5%以内に収めることができた。

(4) 実験方法

実験方法の概略は図2のフローチャートに示した。

(5) 実験条件

実験条件は、ひずみ制御では拘束圧0.05MPa, 0.1MPa, 0.2MPaの3条件でそれぞれひずみ速度10, 20, 30 (%/min)を2ケースずつ行い、応力制御では0.05MPa, 0.1MPa, 0.2MPaの3条件で2ケースずつ行った。

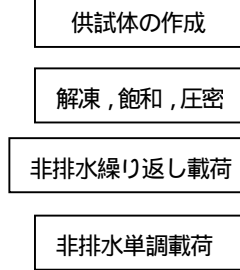


図2 実験方法

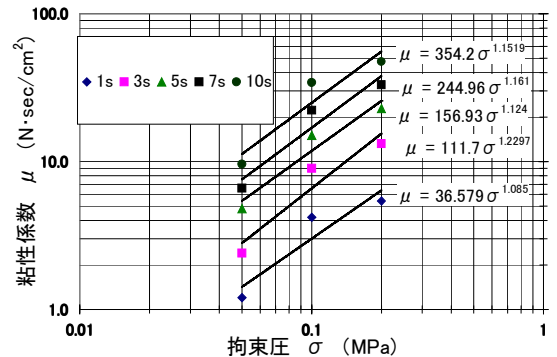


図3 粘性係数と拘束圧の関係

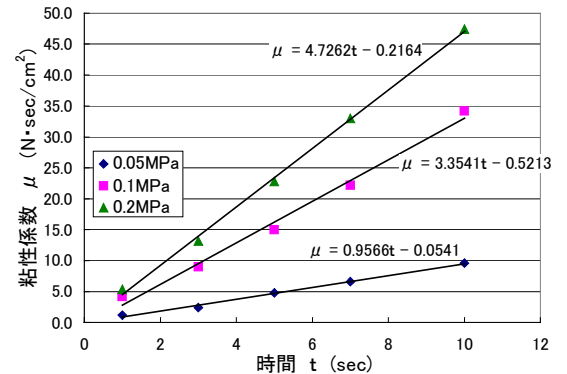


図4 時間と粘性係数の関係

キーワード 液状化 側方流動 有限要素法

連絡先 〒169-8555 東京都新宿区大久保 3-4-1-58-205 TEL03-5286-3405

3.中空ねじりせん断試験結果と考察

(1)繰返しせん断試験

繰返しせん断試験によって間隙水圧が上昇していき、間隙水圧が拘束圧の95%に達した時点で液状化とみなし単調載荷を行った。

(2)粘性係数算出方法

液状化土の粘性係数は実験結果からせん断応力とせん断ひずみ速度の関係図を作成し、そのグラフの傾きから求めた。また、液状化土のみかけの粘性係数はすべてペダスタル外周部を回転させてゴムスリーブの張力を補正した実験結果から求めた。

(3)拘束圧と粘性係数の関係

液状化土の粘性係数は拘束圧に依存することが模型実験の結果より報告されている。濱田等によれば、液状化土の粘性係数は拘束圧の3/2乗に比例すると実験から指摘されている。図3に示すように、粘性係数は拘束圧の3/2乗にほぼ比例しているといえる。

(4)経過時間と粘性係数の関係

液状化後の経過時間と粘性係数の関係を図4に示した。時間と粘性係数は比例していることが確認できる。時間に応じて粘性係数が増加する要因としては、砂粒子の沈降に伴って相互にかみ合い始めていることが原因であると考えられる。

4 有限要素法による側方流動シミュレーション

(1) 解析地点の選定

側方流動のシミュレーションを行うにあたりモデルとなる地盤断面として1995年の阪神淡路大震災で液状化による多大なる被害を受けた神戸、ポートアイランドの埋立て地盤を選んだ(図5参照)。

(2)地層断面図とパラメーター

図6に示す断面図の地盤底面はY方向を拘束、側面はX方向を拘束した。液状化土の粘性係数は、実験で得られた液状化発生後の時間経過を考慮したのを使い、最大加速度4.9m/s<sup>2</sup>で周波数4.0Hzの正弦波を水平方向に50秒間作用させた。解析に使用したパラメーターは表1に示す。今回は図6の層4を液状化層とみなし解析を行った。

(3)シミュレーション結果

図7は、液状化土の鋼球引き抜き実験より求めた一定の粘性係数を用いた場合と本実験で得られた時間的に単調に増加する粘性係数を用いた場合の埋立て地盤上に設定した着目点の水平変位シミュレーション結果を比較している。実変位3.94mに対してシミュレーション結果はともに3.54mではほぼ整合しているとともに、時間効果を考慮することにより地震動による微小な繰返し変位を生じながら、地盤の自重に基づくゆっくりとした側方流動を再現することができた。

5. まとめ

- (1)供試体の相対密度の増加と共に粘性係数は増加する。
- (2)拘束圧の増加と共に粘性係数は増加する。
- (3)液状化後の経過時間の増加と共に粘性係数は増加する。
- (4)液状化直後の砂に対してはニュートンの粘性法則が成り立つ。
- (5)有限要素法側方流動シミュレーションにおいては、粘性係数の時間効果を考慮することで実現象に近い挙動を示すことができる。

参考文献：川村他，第37回地盤工学研究発表会，No.1003，2002年7月



図5 解析断面図  
表1 パラメーター

	内部摩擦角φ (deg)	30.0
液状化地盤	降伏値(kPa)	10.0
	質量密度ρ(g/cm <sup>3</sup> )	1.80
その他	質量密度ρ(g/cm <sup>3</sup> )	1.80

	弾性係数E(kPa)	ポアソン比ν
矢板	1.00E+14	0.33
層1	1.00E+12	0.35
層2	17500	0.38
層3	5000	0.45
層4	5000	0.38
層5	75000	0.35

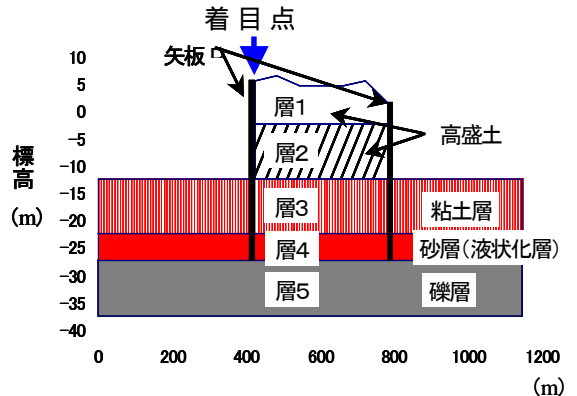


図6 断面図

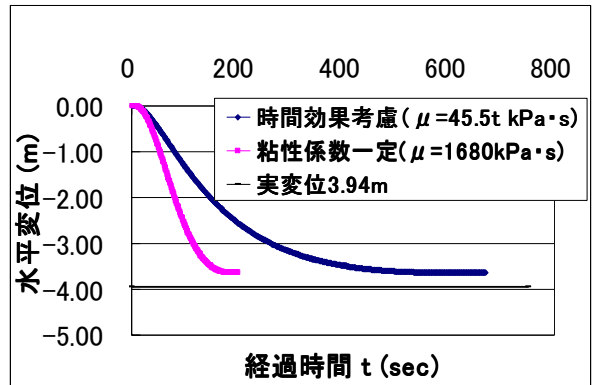


図7 解析結果