

杭基礎に作用する側方流動外力の流体解析への適用性

早稲田大学 学生会員 宮内 良
 早稲田大学 正会員 張 至鎬
 早稲田大学 フェロー会員 濱田 政則

1. はじめに

液状化した地盤が数メートルのオーダーで水平移動する現象、いわゆる側方流動の発生メカニズムは、地盤剛性の著しい低下により生ずるとの考え方、液状化土の流体的な挙動により生ずるとの考え方、などが提案されている。本研究グループでは杭～地盤間の模型実験を行い、完全に液状化した地盤ではの流体的な挙動を示すことを明らかにしてきた^{1),2)}。本報告では、重力場および遠心载荷場における模型実験の結果に基づき、地盤および杭の挙動を流体解析により検証したものである。

2. 模型実験の概要

(1) 重力場実験の概要

模型地盤の概要を図-1に示す。模型実験は長手方向2m、奥行き0.5m、高さ0.465mの剛土槽を用いた。模型地盤を流動方向と直角な水平方向にスイープ波で加振することにより液状化を生じさせ、地盤を流動させた。模型地盤深さは30cm、傾斜は3%、6%である。

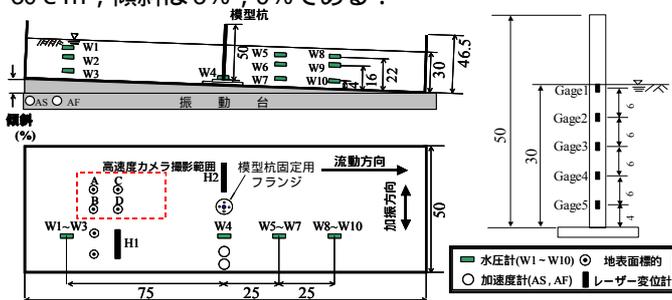


図-1 模型地盤と模型杭の概要(単位: cm)

(2) 遠心载荷場実験の概要

模型地盤の概要を図-2に示す。土槽の内寸法は、縦1m、横1m、高さ37.5cmである。遠心加速度30Gとし重力場実験と同じように液状化を生じさせ、地盤を流動させた。地盤の勾配は10%である。

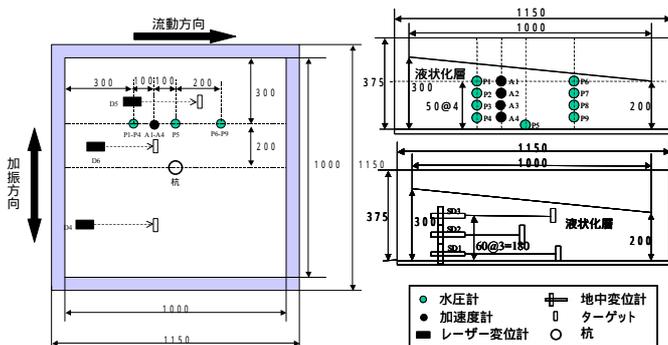


図-2 模型地盤の概要(単位: mm)

3. 重力場実験の解析結果と考察

(1) 解析条件

濱田らによれば、液状化土の粘性係数はせん断ひずみ速度によって変化する非線形的な性質を有し、かつ粘性係数は拘束圧のほぼ1.5乗に比例し増大するとされている¹⁾。本解析に用いる粘性係数は、この経験値をもとに決定した。

図-3に三次元解析モデルを示す。解析では流動による地表面勾配の変化を考慮し、側面と底面の境界では流動速度0、地表面は自由表面とした。流体の密度は1.8g/cm³とし、粘性係数は時間的にも深さ方向にも一定の値を用いた。

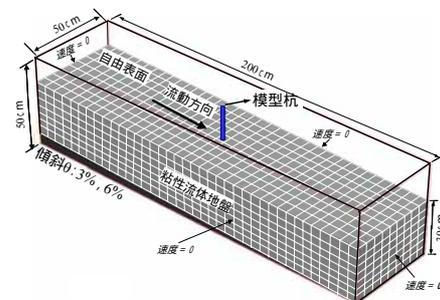


図-3 流体三次元解析モデル(重力場)

(2) 曲げモーメントの算出方法

解析によって設定した格子ごとの速度・圧力が算出される。図-4に示すように杭には圧力差による抵抗と粘性によるせん断抵抗が考えられる。圧力差に格子の面積を乗じた応力と粘性係数とせん断ひずみ速度の積から算出したせん断応力の和を求め、杭基部から距離を乗ずることで曲げモーメントを算出した。

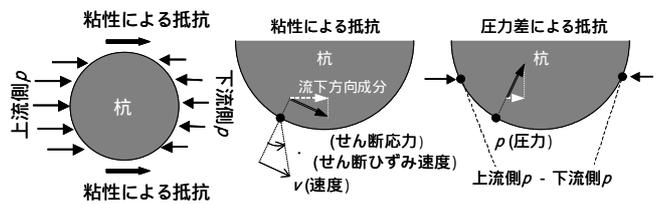


図-4 曲げモーメントの算出方法

(3) 解析結果と考察

図-5に模型杭付近のH2における地表面流動速度・模型杭に作用する流動外力の実験値と解析値の時刻歴比較を過剰間隙水圧比と併せて示す。(a)は傾斜3%のケース、(b)は傾斜6%のケースである。図によれば、流動速度および流動外力の実験値と解析値の最大値はほぼ一致しているが、最大値を示す時刻に差がある。これは、実験では加振入力波に最大振幅に達するのに時間を要するスイープ波を用い

キーワード 液状化, 杭基礎, 流動速度, 流動外力, 流体解析

連絡先 〒169-8555 東京都新宿区大久保3-4-1 早稲田大学 社会環境工学科 濱田研究室 TEL 03-3208-0349

ていることで過剰間隙水圧比が1.0に達するのに時間を要す。また、模型地盤は過剰間隙水圧比が1.0に近づくにつれて流体的な性質が卓越していくと考えられる。一方、解析では始めから流体として取り扱うため、流動速度の最大値が早く現れ、実験値との差が生じる。しかし、最大値がほぼ一致していること、液状化後の実験値と解析値は同じような時刻歴を示していることから、模型地盤を粘性流体と評価できると考えられる。

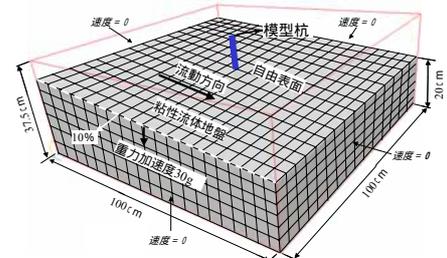


図-8 流体三次元解析モデル（遠心載荷場）

(2) 解析結果と考察

図-9より、流動速度と模型杭に作用する流動外力の実験値と解析値を比較したところ、最大値はほぼ一致するが、最大値をとる時刻に差が生じている。

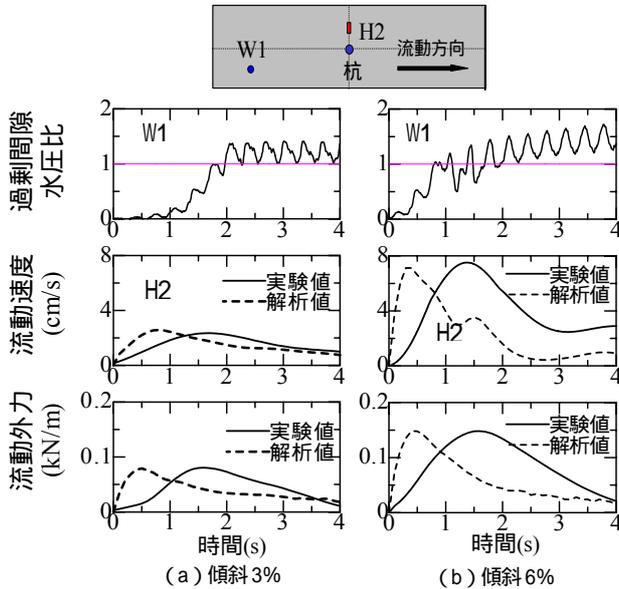


図-5 実験値と解析値の時刻歴比較

図-6に傾斜3%のケースにおける地表面流動速度分布を示す。これによれば、流動速度は模型杭の影響を大きく受け、模型杭に近い場所ほど流動速度が遅くなる傾向があることが分かる。

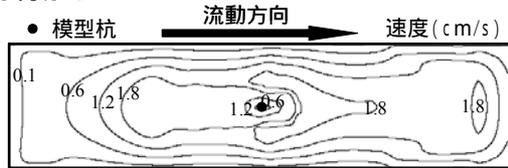


図-6 傾斜3%のケースにおける地表面流動速度分布

図-7に曲げモーメントの深度方向の分布を示す。図によれば、実験値と解析値は概ね一致している。

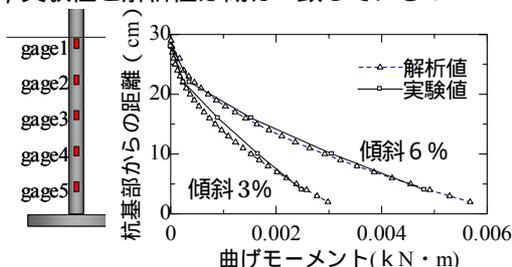


図-7 曲げモーメントの深度分布図（重力場）

4. 遠心載荷場実験の解析結果と考察

(1) 解析条件

モデル地盤に10%の初期の地表面勾配を与え、遠心加速度30Gの重力加速度を設定した。他の条件は重力場と同様とし、粘性係数は一定とした。図-8に遠心載荷場における模型実験の流体三次元モデルを示す。

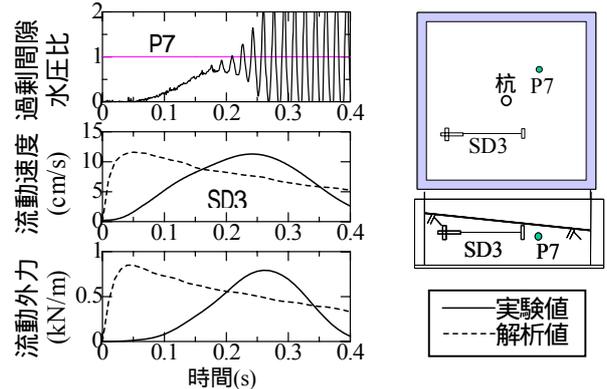


図-9 実験値と解析値の時刻歴比較

図-10に曲げモーメントの深度分布図を示す。これによると、解析値が実験値をやや上回る結果となった。遠心載荷場では、実験値と解析値の曲げモーメントの差が重力場の実験より大きくなる傾向にある。実地盤では、粘性係数が非線形であり地盤の物性値が変化しているのに対して、解析では粘性係数を全領域及び時間的に一定としているため、拘束圧の大きい遠心載荷場でこの差が大きく影響していると考えられる。

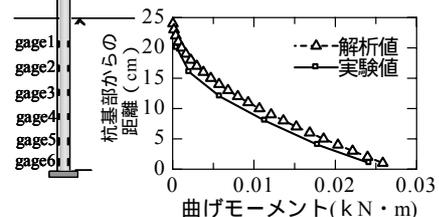


図-10 実験値と解析値の時刻歴比較

5. まとめと今後の課題

重力場及び遠心載荷場における模型実験を流体解析によりシミュレーションする事が可能である。これより、杭基礎に作用する流動外力を予測する過程において流体解析が非常に有効な方法であると考えられる。

本解析では、粘性係数を一定としたのに対し、実地盤では非線形である。これが結果に差を与える要因であると考えた。今後は粘性係数を変化させた解析を行う予定である。

参考文献 1) 濱田政則ら：液状化土の流動特性に関する研究，地震防災向上に関するシンポジウム論文集，pp261-266，2001.3
2) 張至鎬，濱田政則：液状化地盤の流動が基礎杭に及ぼす外力特性に関する研究，土木学会論文集，766号/ -68，pp191-201,2004.7