

I - B 424 液状化土の流動特性とその外力特性に関する実験的および数値解析的研究

早稲田大学 学生会員 ○山田 隆一 志摩 美裕貴
同上 フェロー 濱田 政則
ハザマ 正会員 三原 正哉
理化学研究所 正会員 渦岡 良介

1. はじめに

本研究は、側方流動中の液状化土が模型杭に及ぼす外力の特性を明らかにすることを目的としている。著者らは杭―地盤模型を用いた流動実験と、液状化土を粘性流体とした三次元流体解析を行った。本文では模型地盤が全層液状化する場合の実験結果と数値解析結果について報告する。

2. 模型実験の概要と結果

模型実験に用いた杭―地盤模型の概要を図 1 に示す。土槽底板中央には模型杭（ポリカーボネート製、直径 26mm、EI=約 30N・m²）が設置されている。地盤材料としては遠州灘の浜砂を用い、これを水中で攪拌し、予備加振により再堆積させることにより所定の相対密度を有する飽和砂層を作成した。模型地盤完成後、土槽を所定の角度に傾斜させ、流動直角方向に加振（5Hz、8 波、約 800cm/s²）することにより側方流動を発生させた。流動中は地表面に設置された標的の動きをビデオカメラにより撮影し、地表面変位の時刻歴を求めた。液状化層厚は約 24cm で、地表面勾配は 2.4, 6%と変化させた。相対密度は概ね 20% から 40% の範囲にある。

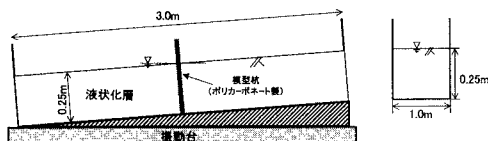
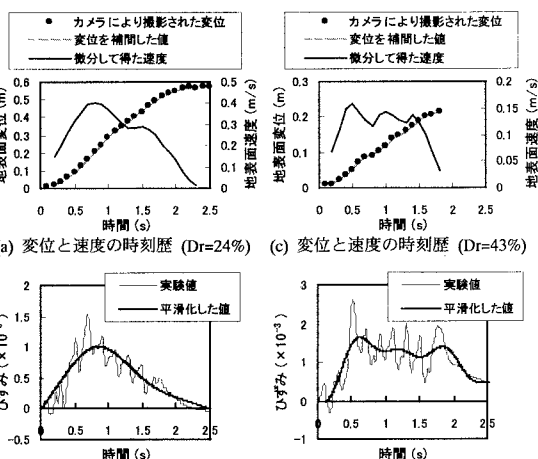
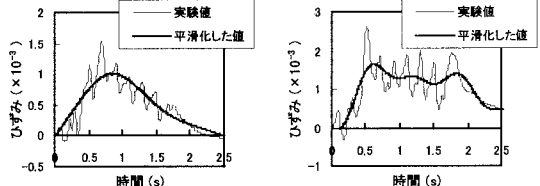


図 1 杭―地盤模型の概要

図 2 に相対密度が 24% および 43% の場合の、地表面変位の時刻歴、それを微分して得た地表面速度および模型杭下端の曲げひずみの時刻歴を示す。すべての実験の条件、地表面速度の最大値および杭下端における最大曲げモーメントを表 1 に示す。図 2 によれば、杭のひずみの時刻歴は地表面速度の時刻歴とほぼ相似形であり、模型杭に流体力が作用していることを示唆している。このことは相対密度の小さい場合において特に顕著である。相対密度が比較的大きい場合においても、杭の曲げひずみの時刻歴は速度の時刻歴とほぼ相似形であるが、流動後すなわち速度がほぼ 0 になった状態で、残留ひずみが生じ



(a) 変位と速度の時刻歴 (Dr=24%) (c) 変位と速度の時刻歴 (Dr=43%)



(b) 杭のひずみの時刻歴 (Dr=24%) (d) 杭のひずみの時刻歴 (Dr=43%)

図 2 変位・速度および杭のひずみの時刻歴

表 1 実験の条件と結果

Case	液状化層厚 (cm)	相対密度 (%)	地表面勾配 (%)	最大速度 (m/s)	最大曲げモーメント (N・m)
23a	23.9	31.6	2.00	0.205	1.01
23b	24.1	31.4	1.95	0.193	0.35
43a	24.3	31.9	3.97	0.401	2.50
43b	24.5	31.9	3.92	0.413	1.33
63a	24.1	33.9	5.97	0.493	2.68
63b	24.3	32.4	6.00	0.500	2.78
62a	23.3	22.9	6.0	0.348	5.48
62b	23.3	23.8	6.0	0.406	2.69
64a	22.2	42.7	6.0	0.157	6.11
64b	21.6	39.9	6.0	0.103	2.85

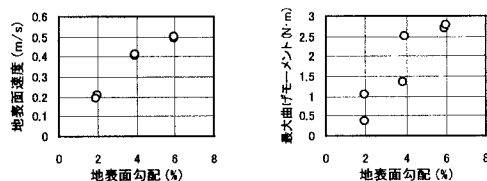


図 3 地表面勾配と最大速度および最大曲げモーメントの関係

キーワード：液状化、側方流動、模型杭、模型実験、数値解析

連絡先：東京都新宿区大久保 3-4-1 早稲田大学理工学部 58-203 濱田研究室 TEL 03-3208-0349

ており、この場合は地盤の流動速度だけでは杭のひずみを説明し得ないことを示唆している。

相対密度約 30%の実験について地表面勾配と最大速度および最大曲げモーメントの関係を図 3 に示す。最大速度、曲げモーメントとも地表面勾配の増加に応じて増大するが、最大曲げモーメントについては実験値にばらつきが認められる。これに対し最大速度は地表面勾配が同じであればほぼ同様な実験結果となっている。杭の曲げモーメントの実験値がばらつく要因として、杭周辺では杭の存在によって液状化土の流動が乱され、これによりせん断ひずみやせん断ひずみ速度が増大して液状化土の粘性係数などの物性が変化し、かつ、この変化の度合いが実験ケースによってばらついていることが考えられる。

3. 数値解析の概要と結果

実験をシミュレートするために三次元粘性流体解析を行った。本解析では自由表面の変化が考慮されており、重力のみを外力として与えることにより自由流下の解析を行っている。

解析の対象とした実験は相対密度 23%、液状化層厚 23.3cm、地表面勾配 6% のケースである。実験結果として図 4 に示した位置の各標的の地表面速度の時刻歴を図 5 に示す。

図 6 はモデル全体の粘性係数を一様に 60Pa・s とした場合(モデル 1)の解析結果と実験結果の比較である。図(a)は解析による地表面標的の速度の時刻歴を示す。これによれば、解析による速度の時刻歴は実験結果に概ね一致している。しかし、図 6 (b)に示す杭下部の曲げモーメントは実験値が解析値を大幅に上回っている。これは、前述したように杭周辺の液状化土の粘性係数が増大しているためと考えられる。このため、図 8 に示すように杭周辺の液状化土の粘性係数を増加させた解析を行った(モデル 2)。粘性係数が増加する領域は図(a)に示すように、地表面で杭より半径 10cm の領域とし、深さ方向には 1/4 正弦波分布とした。さらに、粘性係数を深さ方向に変化させ、地表面で 2000Pa・s、模型地盤底部で 60Pa・s とした。なお、その他の領域での粘性係数はモデル 1 と同じ 60Pa・s としている。図 7 に解析による地表面速度と曲げモーメントの比較を示す。速度の時刻歴においてモデル 1 と同様に実験値を説明しており、また曲げモーメントについても実験値と解析値で良好な一致が得られている。

4. まとめ

- (1) 模型杭の曲げひずみの時刻歴と地表面速度の時刻歴が相似形であることから、杭に流体的な外力が作用したものと考えられる。
- (2) 地表面勾配、相対密度が同一条件下の実験において、液状化土の流動速度はほぼ同じような結果が得られるが、杭の曲げひずみはばらつくことが多い。
- (3) (2)のばらつきについては、杭周辺では液状化土の物性が変化しており、その変化の程度がばらついていることが原因と考えられる。このことは三次元の数値解析によって確認された。

参考文献

- 1) 液状化による地盤の水平変位の研究 土木学会論文集; 濱田政則, 若松加寿江; 1998.6
- 2) 液状化土が杭に及ぼす流動外力の実験と解析 第 33 回地盤工学研究発表会; 濱田政則, 三野栄作, 吉田誠
- 3) 流体の力学; 谷田好通; 朝倉書店; 1994.4

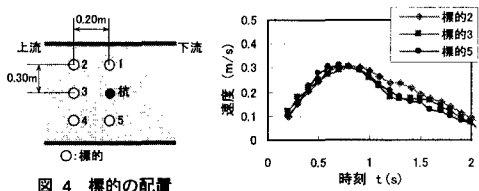


図 4 標的の配置

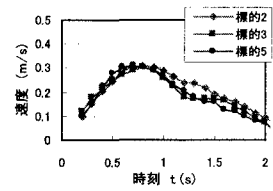
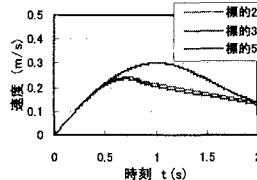
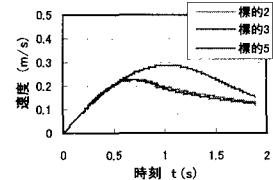


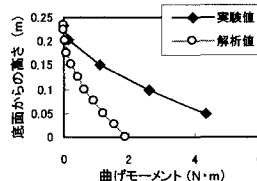
図 5 実験による速度の時刻



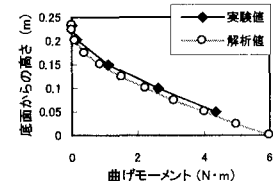
(a) 解析による速度の時刻歴



(b) 解析による速度の時刻歴



(b) 曲げモーメント分布



(b) 曲げモーメント分布

図 6 実験値とモデル 1 の解析値 図 7 実験値とモデル 2 の解析値

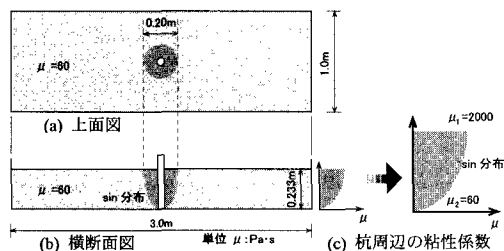


図 8 杭周辺の粘性係数を高めた解析のモデル