

群杭に作用する流動外力に関する実験的研究 (その2 シミュレーションモデルを用いた考察)

早稲田大学大学院 学生会員 ○高橋祐幸 大澤修一 藤澤惣

早稲田大学 フェロー会員 濱田政則

1. はじめに

遠心載荷場における模型実験より、液状化層の上部に非液状化層を有する地盤に設置された群杭には、地盤の流動速度と変位による力が作用していることが示されている¹⁾。本研究では、遠心載荷場の実験で得られた杭への作用外力を非液状化層と液状化層からの外力の合力として考慮したモデルにより、シミュレーションを行った。

2. シミュレーションモデル

模型杭には、図-1 に示すように、液状化層からは地盤流動速度に起因する粘性力、非液状化層からは地盤変位に起因する外力が作用すると考えられる。

非液状化層からの地盤流動変位に起因する外力は式(1)のように表すことができる。

$$f_e = k(u_g - u_p) \dots (1)$$

k : 地盤ばね定数 u_g : 地盤流動変位 u_p : 杭の変位

図-2 に実験で測定された自由地盤における流動速度・変位、流動方向に対して、上流・中流・下流側に設置した杭の基部から2cmの位置に発生した曲げモーメントの時刻歴を示す。時刻歴において0.5秒以降は、地盤流動速度が0になり、流動が終了し、変位に起因する外力が作用していると考えられる。ここで、段差による外力分¹⁾を除外した曲げモーメントの値と、0.5秒以降の地盤流動変位を式(1)に適用することにより、地盤ばね定数を算出する。地表面の地盤流動変位の最大値は図-2 に示したように1.76cmである。一方、杭の曲げモーメント分布より求めた杭の変位 u_p の最大値は0.2cmであり、地表面の地盤流動変位と比較し、十分小さい。このため、本研究では、式(1)では杭の変位 u_p を無視して外力が作用するものとした。入力する地盤変位は図-2 に実験値を用いた。シミュレーションの対象区間は図-2 の地盤流動速度が0となる0.5秒までとした。

次に液状化層からの外力を評価する。既往の研究¹⁾より完全な液状化状態である地盤から杭に作用する外力は粘性力として表されることが示されている。一般的には式(2)のような抗力で表される。

$$f_d = \frac{1}{2} \rho V^2 C_D D \dots (2) \quad \rho: \text{地盤密度}, V: \text{地盤流動速度}, C_D: \text{抗力係数}, D: \text{杭の外径}$$

ここで、地盤密度、杭の外径は実験条件より既知であり、地盤流動速度は、地表面に設置したレーザー変位計により算出されている。抗力係数 C_D はLambの式(3)及び式(4)より粘性係数 μ に比例する。ここで粘性係数 μ の同定が必要となる。実験で計測された各杭に発生する曲げモーメントの時刻歴における最大値から同時刻の非液状

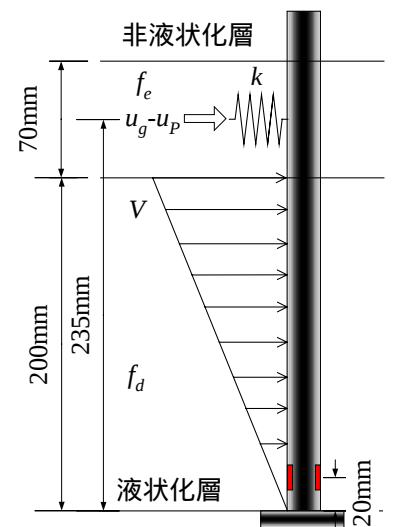


図-1 シミュレーションモデル

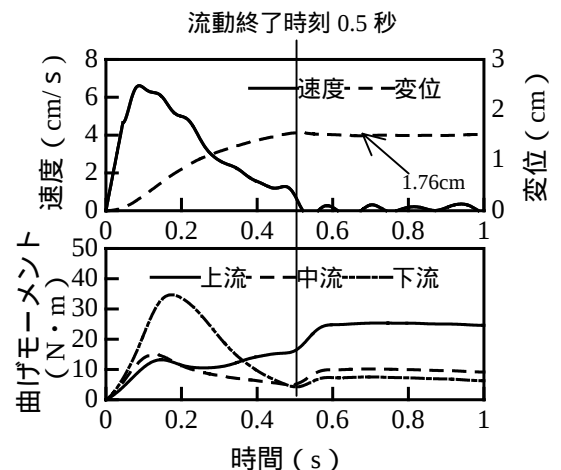


図-2 測定された時刻歴

キーワード 側方流動、液状化層、非液状化層、地盤流動速度、地盤流動変位

連絡先: 〒169-8555 東京都新宿区大久保 3-4-1 早稲田大学濱田研究室 TEL03-5286-3147 E-mail:hiroyuki-t@fuji.waseda.jp

化層の外力分を除外した値に一致するように算定し，全ての時刻においてこの値を用いるものとする．図-1 に示すように地盤流動速度の深度分布が液状化層上部で最大，底部では 0 となるような直線分布であると仮定した．入力する地盤流動速度は，図-2 に示す自由地盤で計測された実験値を用いた．

図-3 に杭にそれぞれの外力を作用させた時に発生する曲げモーメントを示す．実線は非液状化層からの外力を杭に作用させた時に発生する曲げモーメントを，点線は液状化層からの外力を杭に作用させた時に発生する曲げモーメントの時刻歴を示している．検討する位置は，杭基部から 2cm とした．

$$C_D = \frac{8\pi}{Re(\frac{1}{2} - \gamma - \log \frac{Re}{8})} \dots (3) \quad \gamma : \text{オイラー定数 } 0.5772 \quad Re : \text{レイノルズ数}$$

$$Re = \frac{\rho V D}{\mu} \dots (4) \quad \mu : \text{粘性係数}$$

表-1 シミュレーションに用いたパラメータ

	上流	中流	下流
ばね定数 (N/mm)	3.6	1.3	1.1
粘性係数 (N/mm ² ・s)	3000	5000	15000

以上より算出した 2 つの外力を同時に作用させ，曲げモーメントの時刻歴を求めた．実験で計測された曲げモーメントの時刻歴と比較した結果を図-5 に示す．シミュレーションにより算出した曲げモーメントの時刻歴は，実験結果と概ね一致しており，液状化層の速度に起因する外力と非液状化層の変位に起因する外力の合力により，

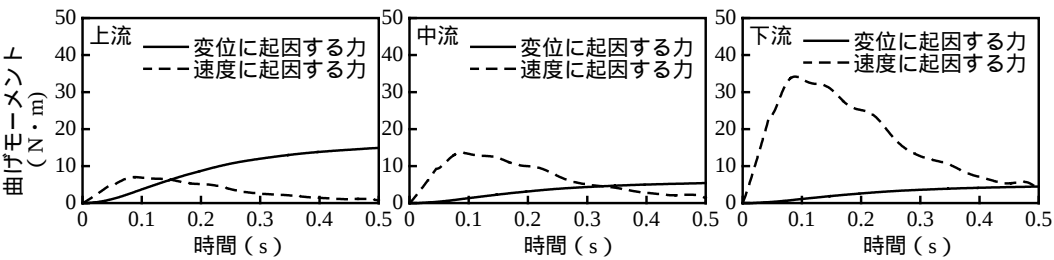


図-3 変位・速度に起因する外力による曲げモーメントの時刻歴

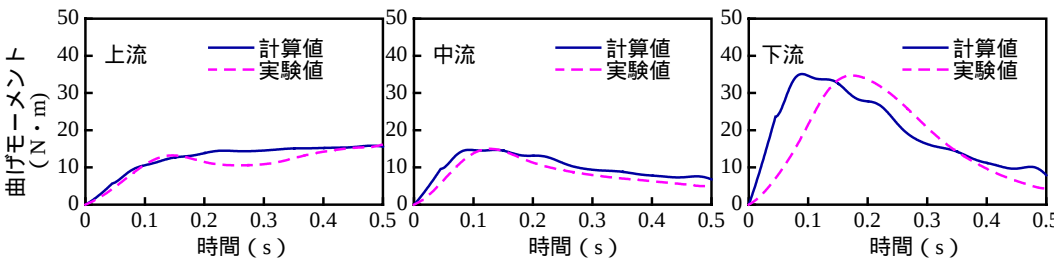


図-4 合力による曲げモーメントの時刻歴

地盤の流動外力を評価することができる．図-3，4 の時刻歴を比較すると，杭の設置位置によって液状化層の速度に起因する外力と非液状化層の変位に起因する外力の影響の大きさが異なることがわかる．上流側では，図-3 に示す 2 つの外力が同程度の大きさで作用しているのに対して，下流側では，液状化層からの地盤流動速度に起因した力の影響が大きいといえる．

3.まとめと課題

液状化層の上部に非液状化層を有する地盤に設置された群杭に作用する外力は，非液状化層からの地盤流動変位に起因する外力と液状化層からの地盤流動速度に起因する外力の合力により，評価できることが示された．また，設置位置に着目すると，2 つの外力が杭に与える影響の大きさが異なっていることが示された．シミュレーションに用いたばね定数と粘性係数の値を予測し，モデルに反映させることが今後課題であると考える．

参考文献

1)藤澤惣・大澤修一・高橋祐幸・濱田政則：群杭に作用する流動外力に関する実験的研究（その1 遠心載荷場における模型実験），第 63 回土木学会年次講演会，2008．9（投稿中）
2)高橋祐幸・濱田政則・張至鎬・東條紀明：液状化地盤の粘性特性に関する研究，第 62 回土木学会年次講演会，3-056, 2007.9