

杭基礎に作用する側方流動の外力の評価

早稲田大学 学生会員 張 至鎬, 小林 智宏
 大阪ガス 正会員 栗田 誠
 西松建設 正会員 平尾 淳
 早稲田大学 フェロー会員 濱田 政則

1. はじめに

側方流動の影響を考慮した杭基礎の耐震設計法のための基礎的知見を蓄積するため、著者らは遠心載荷場における模型実験を行ってきた¹⁾。本文ではこれらの模型実験の結果を用いて、杭に作用する流動外力の評価を試みる。一般に杭基礎に変形を与える外力として地盤変位に起因した外力（弾性力）および地盤速度に起因した外力（粘性力）の両者が考えられる。本報告では、杭～地盤間の相互作用力を Voigt モデルでモデル化し、地盤変位と地盤速度が流動外力に与える影響について検討した。

2. 側方流動外力の算定

液状化層のみの実験 (case1, case2) および非液状化層がある場合の実験 (case3) の計 3 ケースを実施した¹⁾。表-1 に実験ケースの一覧を示す。case1, 2 での側方流動外力は、図-1 に示すように、流動外力の鉛直分布を 1 次関数とし、曲げモーメントの計測値 ($M_2 \sim M_6$) から式(1)より、最小 2 乗法を用いて 1 次関数の係数を同定することにより求めた。ここで、流動外力を 1 次関数としたのは、深さ方向に対する外力分布の大小関係を判定するためである。また、液状化層の上部に非液状化層がある場合 case3 では、非液状化層からの外力と液状化層からの外力は異なった特性をもつと考えられる。このため、図-2 に示す方法で流動外力の算定を行った。非液状化層の外力を等分布と仮定し、式(2)に示すように最小 2 乗法を用いて係数を同定する。

表-1 実験ケースのまとめ

ケース	遠心加速度 G	液状化層厚 (cm)	非液状化層厚 (cm)	相対密度 (%)	地表面傾斜 (%)	入力加速度
Case1	30	20	-	40 (-)	10	300 × 30Gal 60Hz10波
Case2	30	20	-	47 (-)	10	400 × 30Gal 60Hz20波
Case3	30	20	7.0	58 (91)	10	500 × 30Gal 60Hz30波

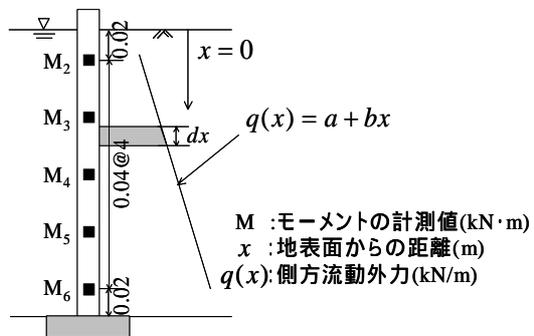


図-1 液状化層のみの実験 (case1, 2)

$$\sum_{i=2}^6 \left\{ M_i - \int_0^{x_i} x_i (a + bx) dx \right\}^2 = E, \quad \frac{\partial E}{\partial a} = 0, \quad \frac{\partial E}{\partial b} = 0 \quad (1)$$

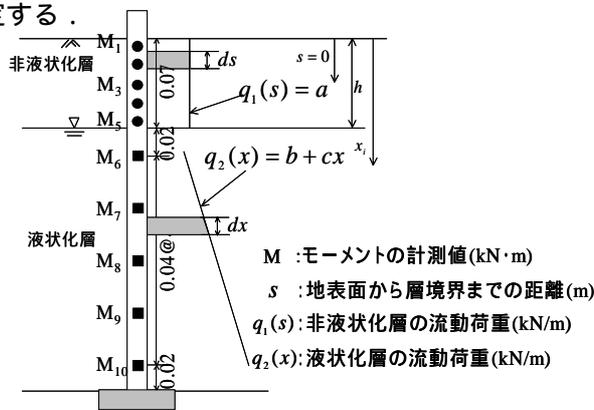


図-2 非液状化層の実験 (case3)

$$\sum_{i=1}^5 \left\{ m_i - \int_0^{s_i} s(a) ds \right\}^2 = E, \quad \frac{\partial E}{\partial a} = 0 \quad (2)$$

3. Voigt モデルを用いた考察

流動地盤より杭に作用する外力としては、地盤変位に起因する外力（以下弾性力という）と地盤速度に起因する外力（以下粘性力という）の双方が考えられる。弾性力の場合は杭と地盤の相対変位に、粘性力の場合は相対速度に比例する。前述した実験¹⁾では地盤の変位と速度に比較し、杭の変位と速度が著しく小さいため図-3 に示すように杭には地盤変位と速度に比例した外力が作用するものとした。なお、地中部での地盤変位は、実験から得られた地表面変位を 1/4 波長の正弦波として補正した。流動外力の同定は、式(3)に示すような最小 2 乗法より求めた。同定する区間を 0.02 秒間隔とするデータからその中心における弾性係数、粘性係数を算定し、それぞれの係수에地盤

キーワード 液状化, 側方流動, Voigt モデル, 粘性力, 弾性力

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

変位，速度を乗じることで粘性・弾性力を同定する．それ以降の時間では，データを 0.001 秒ステップずつ移動させながら同定する方法を用いた．

$$\sum \{q_{(t)} - (k_{(t)}u_{(t)} + c_{(t)}\dot{u}_{(t)})\}^2 = E \quad \frac{\partial E}{\partial k_{(t)}} = 0 \quad \frac{\partial E}{\partial c_{(t)}} = 0 \quad (3)$$

流動外力を同定する位置としては，図-3 に示すように，case1, 2 では M_2, M_4, M_5 とし，case3 では M_3, M_6, M_8 としている．上記の方法より同定した液状化層の実験（case1, case2）の結果を図-4, 5 に示す．図中には，同定を行った位置と同位置で計測された過剰間隙水圧比の時刻歴を併せて示している．図-4, 5 によれば，液状化に達しない状態では，弾性力が粘性力を上回っており，過剰間隙水圧が有効上載圧に達する液状化状態では，粘性力が弾性力を上回っている．ただし，地表面付近では拘束圧が小さいことから，液状化し易い影響を受けて，常に粘性力が卓越している．また，同図によれば，粘性力が弾性力を上回る時刻と過剰間隙水圧が有効上載圧に達する時刻は概ね一致しており，地表面に近いほど早くなる結果となった．すなわち，地盤が液状化した状態から杭に作用する流動外力は，地盤変位に比例する弾性力の影響は非常に小さくなり，地盤速度に比例する流体力が支配的であると考えられる．図-6 に非液状化層の実験（case3）の同定結果を示す．同図からは，非液状化層中では（ m_3 ）弾性力が卓越しており，液状化層では（ M_6, M_8 ）水圧が有効上載圧に達する時刻からは粘性力が弾性力を上回る結果となっている．これは，液状化層では図-4, 5 に示した液状化層のみの同定結果と同様な傾向を示している．すなわち，杭に変形を及ぼした外力は，非液状化層からは地盤変位に依存した弾性力が作用し，有効上載圧に達してからの液状化層では地盤速度に依存した流体力が作用したと考えられる．

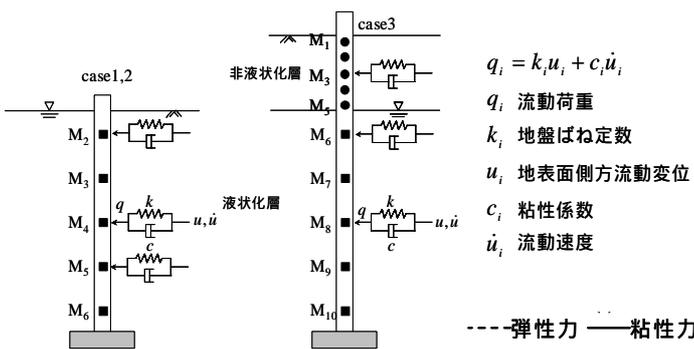


図-3 粘性・弾性力同定モデル

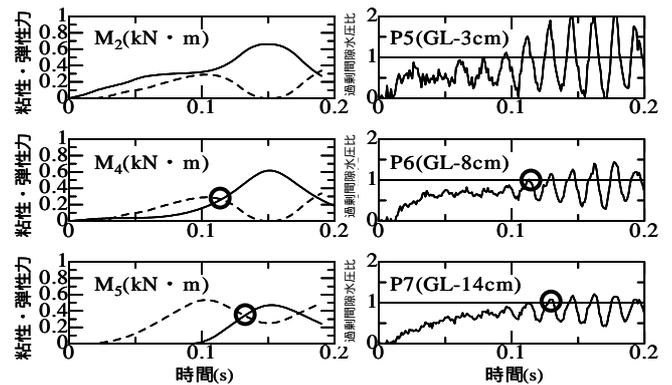


図-4 case1 の同定結果（液状化層のみ）

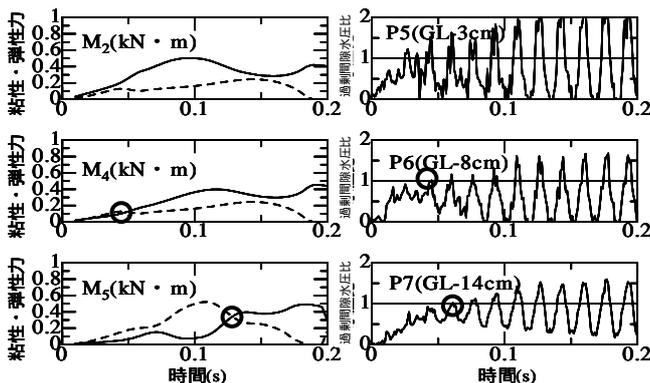


図-5 case2 の同定結果（液状化層のみ）

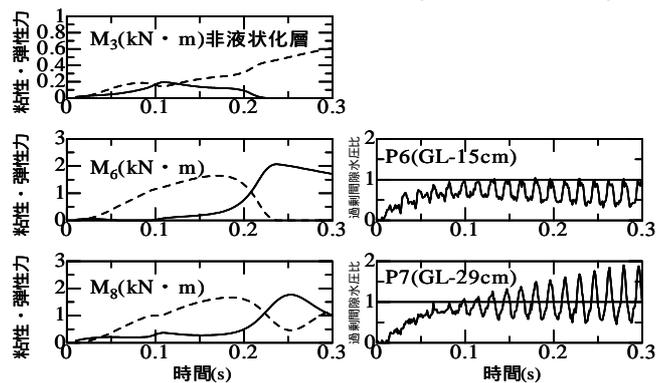


図-6 case3 の同定結果（非液状化層）

4. まとめ

遠心載荷場における液状化地盤の流動実験による杭に作用する外力を評価した．この結果，液状化層の実験では，液状化状態では地盤速度に起因した粘性力が，液状化に達しない状態では地盤変位に起因した弾性力が卓越することが示された．また，液状化層上部に非液状化層がある場合には，非液状化層より地盤変位に起因した弾性力が作用することが示された．

5. 参考文献

1) 濱田ら：杭基礎に作用する側方流動の外力特性に関する実験，第 57 回土木学会年次講演会投稿中