

非液状化層を有する傾斜地盤の液状化時杭基礎挙動における模型振動実験

ハザマ 正会員 足立 有史  
 豊橋技術科学大学 正会員 三浦 均也  
 ハザマ 正会員 三原 正哉  
 ハザマ 正会員 浦野 和彦

1. はじめに

地盤の液状化に伴う杭基礎の被災メカニズムを検討するため、著者らは一連の1g場模型振動台実験を実施した<sup>1),2)</sup>。ここでは地表面非液状化層を有する傾斜地盤を対象に液状化による地盤流動の際の杭基礎挙動について報告する。

2. 振動台実験の概要

図-1に杭基礎模型と地盤模型を示す。杭基礎模型は4本の鋼管と質量10.13kgの剛なフーチングからなる。杭下端は土槽底面に溶接され、上端はフーチングとねじで固定されている。地盤傾斜上流側の杭の1つには、地盤傾斜方向に9組のひずみゲージを設置している。なお、事前に実施した自由振動試験から杭基礎模型の固有振動数は約10Hzであった。

土槽は長さ200cm、深さ60cm、奥行き40cmの鋼製で、土槽の前面と背面には強化ガラスを設置している。地盤材料は平均粒径 $D_{50}=0.54\text{mm}$ 、均等係数 $U_c=2.11$ 、最大乾燥密度 $\max=1.745\text{g/cm}^3$ 、最小乾燥密度 $\min=1.475\text{g/cm}^3$ の珪砂5号である。土層は移動式のスリットを用い、水中落下法によって層厚5cmごとに土層を作成し、所定の相対密度が $Dr=50\%$ (誤差3%)であることを確認した。この材料の $Dr=50\%$ における液状化強度比は $R_{L20}=0.17(\Delta u/\sigma'_v=95\%)$ であった。計測器は加速度計、間隙水圧計、変位計および杭のひずみゲージを図-1に示すように配置するとともに、色砂を用い地盤の挙動を観察した。地表面非液状化層には平均粒径 $D_{50}=6.3\text{mm}$ 、均等係数 $U_c=3.55$ の透水性の良い角張った川砂利を用いた。川砂利は目が粗く細長い綿製の大小の袋に密に詰め、図-2に示すように地表面上にお互いが密着するよう配置した。地表面の地盤傾斜は5%、非液状化層の厚さは3.5cmである。事前に実施した正弦波振幅5Gal)のステップ加振試験の結果、地盤の固有振動数は約40Hzであった。入力加速度は、周波数4Hzの正弦波で継続時間は前後1秒間のテーパ部を含めた12秒間である。加振は予備加振として最大振幅70Gal、その後過剰間隙水圧の消散を確認し、最大振幅150Galの本加振を実施した。

3. 実験結果および考察

図-3に150Gal加振時の地盤および杭基礎の時刻歴波形を示す。地盤中央部の過剰間隙水圧は、加振開始約1.3秒後にはすべての深度で過剰間隙水圧は初期鉛直有効応力に達し、液状化に至った。その状態は約5秒間継続し、その後、地盤深部の過剰間隙水圧(p3c)は減少し始めた(a)。全曲げモーメント $M_t$ からフーチング慣性力による曲げモーメント $M_i$ を差し引くことで求まる地盤外力による曲げモーメント $M_e$ <sup>3)</sup>は間隙水圧の上昇に伴い増加し、液状化に至る直前で一時的に大きな値を示している。その後 $M_e$ は液状化が継続している間はほぼ一定の振幅を示しているが、その方向はほとんど下流側

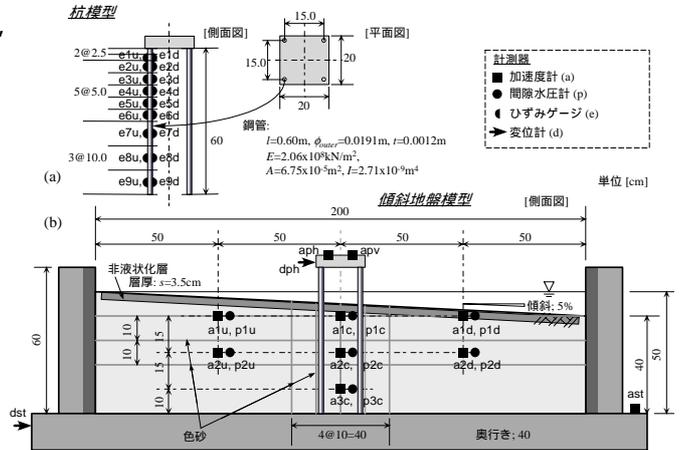


図-1 振動台模型の概要図 (a)杭基礎、(b)傾斜地盤模型および計測器

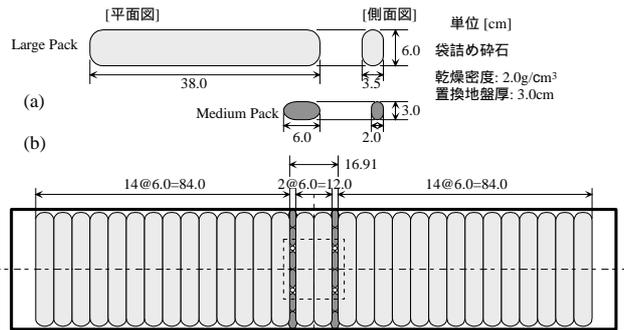


図-2 非液状化層配置図

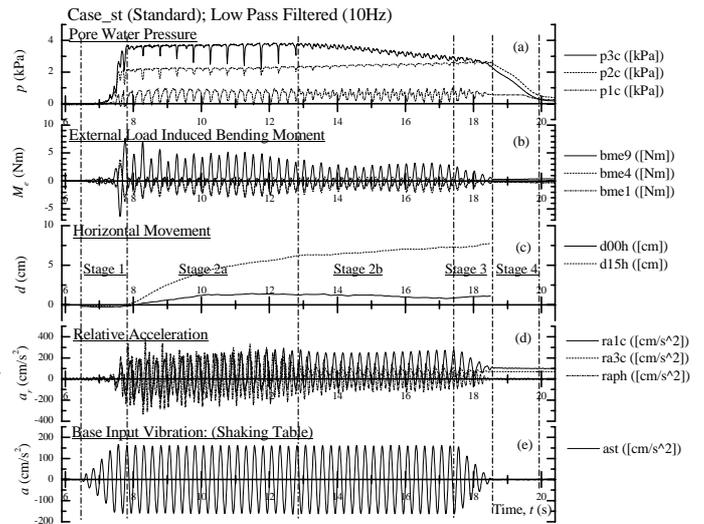


図-3 地盤および杭基礎の挙動

キーワード：振動台実験 杭基礎 液状化 非液状化層 側方流動

連絡先：〒305-0822 茨城県つくば市荻間 515-1 TEL：029-858-8813 FAX：029-858-8819

へ限られている (b)。地盤の水平変位(c)は、地盤が液状化に至った時点から始まり、GL-15cm の位置での変位量が約 10cm 生じたのに対して、地表面では杭基礎により変位は 2cm 以下に抑えられている( 図 - 4 参照 )。以下に加振開始から過剰間隙水圧が上昇し液状化に至る過程(Stage1)およびその後の液状化継続状態(Stage2a)の挙動についてそれぞれ示す。

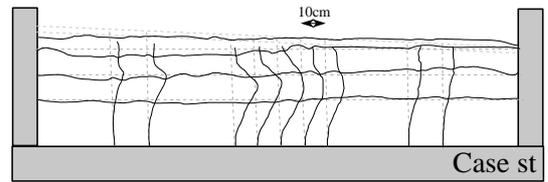


図 - 4 加振終了後変形スケッチ

**液状化発生までの過程 (Stage1: 図 - 5, 7)**

加振開始直後は、過剰間隙水圧の上昇がほとんどなく地盤剛性の低下も小さいため、地盤の変位は極めて小さい。また、杭基礎と地盤の位相もほぼ一致している( 図 - 4 Phase a,b )。その後、過剰間隙水圧の増加による地盤剛性の低下に伴って、地盤の固有振動数も

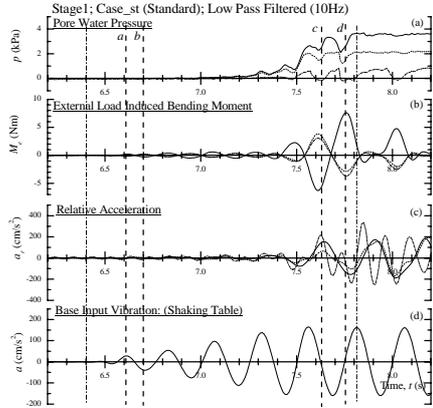


図 - 5 地盤および杭基礎の挙動 ( Stage1 )

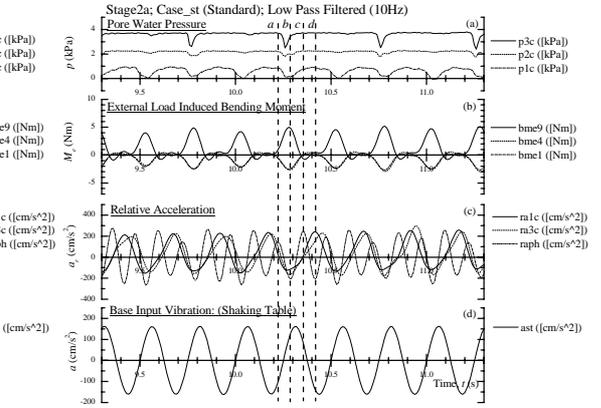


図 - 6 地盤および杭基礎の挙動 ( stage2a )

低下し、液状化に至る直前で振動台と地盤の絶対加速度の位相差は約  $\pi/2$  となっていることから、共振状態となったものと考えられる。共振状態を示す数サイクル間で、杭に発生する曲げモーメントは最大値を生じている( 図 - 4 Phase c,d )。この時点で、地盤剛性はかなり低下しているものの、地盤の初期形状は保持されており、杭基礎は地盤とほぼ同時に振動していることがわかる。Stage1における杭変形と外力の関係を図 - 6 に示す。また、図 - 9 に同一の入力加速度に対して地盤が液状化する場合とそうでない場合の各曲げモーメント成分  $M_t, M_e, M_i$  の比較を示す。液状化が生じるケースでは、過剰間隙水圧の上昇に伴い地盤外力によって発生する曲げモーメント  $M_e$  が急増し、慣性力に曲げモーメント  $M_i$  も同位相で作用しているのに対して、液状化が生じず地盤が健全な場合は、 $M_e$  と  $M_i$  は逆位相となり、お互い打ち消しあう方向に作用し、結果的に全曲げモーメントは、ほとんど発生していない。

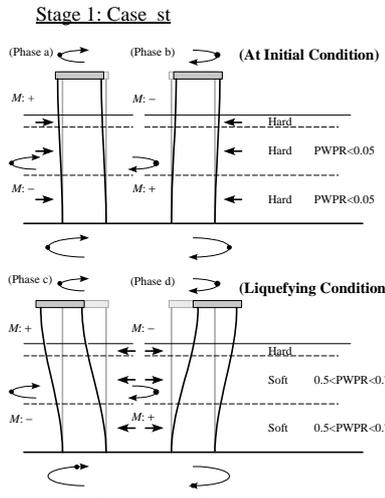


図 - 7 杭変形と地盤外力の関係 (Stage1)

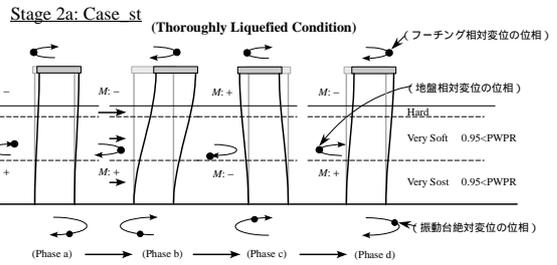
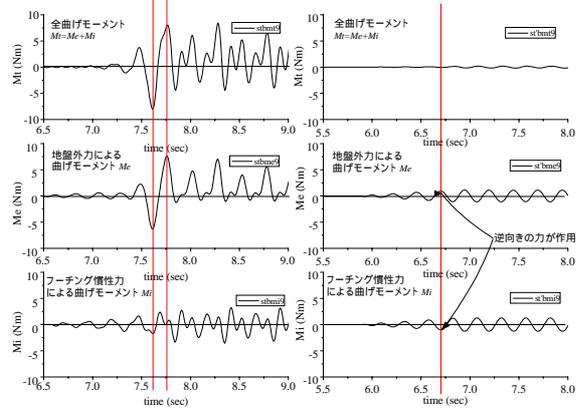


図 - 8 杭変形と地盤外力の関係(Stage2a)



(a)液状化が生じる場合 (b)液状化が生じない場合  
図-9 液状化発生の有無による曲げモーメントの比較

**液状化状態(Stage2a: 図 - 6, 8)**

Stage2a では、曲げモーメント  $M_e$  の時刻歴から、地盤外力は上流側からのみ作用し、下流側からはほとんど作用していないことがわかる。各サイクルにおいて最大曲げモーメントは杭基礎と地盤の両方が、同時に下流側に変位した時に生じている( 図 - 7, phase b )。また、この最大曲げモーメントの発生と同時に過剰間隙水圧の低下するサイクリックモビリティ現象が確認できる。このサイクリックモビリティにより地盤内の一部の領域は一時的に有効応力及び剛性を回復することになり、杭に作用する外力を増大させる要因となったものと考えられる。

**4. おわりに**

本研究では、地表面非液状化層を有する地盤を対象に液状化による流動時の杭基礎挙動について検討した。今後は非液状化層を有する地盤の液状化による流動時におけるより詳細な杭基礎の挙動メカニズムの検討を予定している。

【参考文献】1) 三原ら：“液状化地盤における杭基礎の挙動に及ぼす影響因子 - 側方流動，加振方向 - ”，2) 浦野ら：“液状化地盤における杭基礎の挙動に及ぼす影響因子 - 地盤傾斜，非液状化層厚 - ”，3) 三浦ら：“側方流動実験における杭模型の振動特性とバネモデルによる解析”，以上，第 38 回地盤工学研究発表会，2003。