

III-307

加振誤差としての土槽のピッチング動と砂地盤の液状化

鹿島技術研究所 正会員 山田岳峰 正会員 鄭 京哲
正会員 本田満彦 正会員 林 寛

1. はじめに

地盤あるいは地盤～構造物系の動的遠心模型実験の実施に際しては、水平加振に付随して発生する土槽のピッチング動などの加振誤差が実験結果に与える影響を明確にする必要がある。著者らはこの問題に関し、地盤モデルの応答が線形範囲に近い場合については、加振誤差としてのピッチング動を考慮した実験結果の処理方法を提案し、提案手法が実験結果を整理する上で非常に有効であることを示してきた¹⁾。今回は、新たに、水平砂地盤の液状化を検討対象として、土槽のピッチング動が液状化実験結果に及ぼす影響を解析的に検討し、ピッチング動の影響が小さくなる地盤モデルの寸法について検討した。

2. 検討方法の概要

解析コードは有効応力FEMプログラムDYNAPLOWを用いた。砂の応力～ひずみ関係はMulti-yieldモデル²⁾である。はじめに、粗密2層からなる飽和砂成層地盤の液状化実験結果をDYNAPLOWでシミュレートし、ピッチング動を考慮した液状化解析に対するDYNAPLOWの妥当性を確認した。その後、妥当性確認の過程で決定されたパラメータを用いて、均質な飽和砂水平地盤の液状化実験において、ピッチング動が実験結果に及ぼす影響について解析的に検討した。

3. DYNAPLOWを用いた液状化実験のシミュレーション

3.1 液状化実験

解析の対象とした液状化実験は密度が異なる2層（粗： $Dr=65\%$ 、細： $Dr=95\%$ ）からなる飽和砂成層地盤の遠心模型実験結果である。実験モデルの概要を図-1に示す。試料は豊浦砂を用いている。遠心加速度は地盤底面において約 440m/s^2 [約45g]であり、間隙流体はシリコンオイル（45cP）とした。なお、土槽側壁の境界処理としてシリコンラバー（ヤング率235.2kPa、ポアソン比0.49）を用いている。加振は、微小ランダム波（周波数成分25～500Hz、最大振幅 6.31m/s^2 、加振時間1.6s）、及び、図-2に示す正弦波（周波数200Hz、最大振幅 9.8m/s^2 [約10g]、加振時間0.8s）を土槽底面に対して平行（以下水平方向）に加振した（以下、微小ランダム波加振を微小加振、正弦波加振を液状化加振と称す）。なお、水平方向加振に伴い、図-1、A2で、加振直角方向（以下鉛直方向）にA1の水平方向加速度に比し最大加速度振幅比で液状化加振時約55%の土槽のピッチング動に起因する鉛直方向加速度が発生した。なお、以下においては、実験結果、解析結果とも1g場に換算して整理する（ここで、実験における遠心加速度は 441m/s^2 [45g]が均一に作用すると仮定した）。

3.2 DYNAPLOWを用いた液状化実験のシミュレーション

DYNAPLOWを用いて3.1に示した液状化実験のシミュレーションを実施した解析モデルを図-3に示す。解析は、二次元平面ひずみモデルで行い入力波は解析モデル底面に土槽底面における実測加速度記録を1g場に換算して水平方向および鉛直方向に入力した。Multi-yieldモデルの弾性挙動に関するパラメータは密度などから実験式に基づいて決定し、その他のパラメータは同一密度に対応する液状化強度曲線が要素試験結果とほぼ一致するように決定した。微小加振時の解析結果について、図-1中A7に相当する水平加速度の伝達関数を実験結果と比較して図-4に示す。図-4から、解析結果は実験結果とおおむね一致し、設定した弾性パラメータが妥当な値であることが分かる。次に、液状化加振時の解析結果について、図-1、A7に相当する水平加速度の時刻歴、及び、P1、P2、P3、P6、P7、P8に

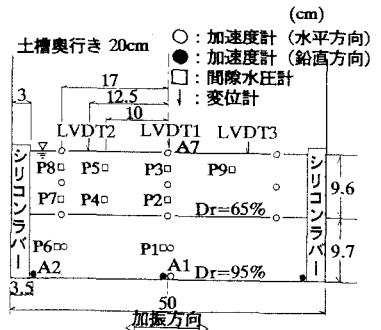


図-1 遠心模型実験モデルの概要

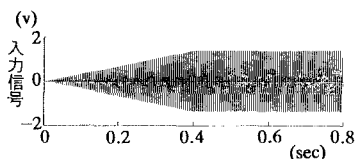


図-2 液状化加振入力波

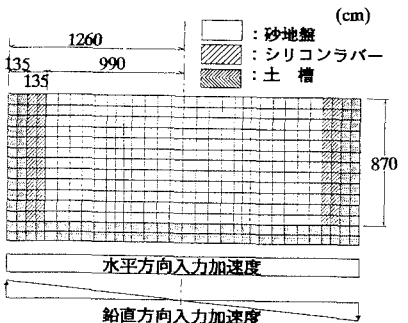


図-3 解析モデルの概要

相当する過剰間隙水圧の時刻歴を実験結果と比較して図-5 に示す。図-5 から、解析結果は、地表面の水平加速度について最大加速度が若干大きくなり液状化に伴う加速度の長周期化を過少評価する傾向となるが、液状化加振時の解析結果は加速度、間隙水圧とも実験結果を全般的に良く表現できている。以上から、DYNAPLOWにより、ピッチング動の影響が含まれる飽和砂成層地盤の液状化挙動を適切にシミュレートできることが分かった。

4. 液状化実験に及ぼすピッチング動の影響

想定する実験は、図-1に示す土槽および境界処理方法を用いるものとし(土槽幅 $w=44\text{cm}$)、地盤は3章の表層地盤($D_r=65\%$)が均質に堆積する飽和砂水平地盤である。地盤高さ h を 10cm 、 15cm 、 20cm 、 30cm と変化させ、各々[水平加振]および[水平加振+ピッチング動]の2ケースについて液状化解析を実施した。なお、解析方法は、均質地盤であること、地盤高さが異なること、および水平加振のみのケースではピッチング動を入力しないこと以外、3.2に示した方法と同一である。以下、液状化に至るまでの地盤中央位置での地盤の挙動に着目する。図-6に、過剰間隙水圧および地表面水平加速度の時刻歴を $h=10\text{cm}$ および 30cm の場合について示す。図-6から、水平加振にピッチング動が含まれる場合は、水平加振のみに比し、過剰間隙水圧の増加が大きく最大水平加速度が早く現れること(早く液状化すること)、および、その差は地盤高さが高くなるほど大きくなること(ここでは、 $h=30\text{cm}$ の場合の差のほうが $h=10\text{cm}$ の差より大きい)が分かる。これは、ピッチング動が含まれる場合、地盤にピッチング動に伴うせん断振動が付加され、地盤高さが高くなるほどそのせん断振動が増幅されることが一因として考えられる。なお、この傾向は、 $h=15$ 、 20cm の場合についても同様に見受けられた。最後に、 $h=10\text{cm}$ ($h/w=0.23$ に相当)の挙動に注目すると、今回用いたピッチング動の加振レベル(水平加振に比し最大値で55%程度のレベル)では[水平加振]と[水平加振+ピッチング動]の挙動の差は小さくなり、 10cm 程度の地盤高さを有する均質な飽和砂水平地盤の液状化実験では、地盤中央位置の挙動に着目することにより、加振誤差としての土槽のピッチング動の影響をほとんど受けない実験結果が得られることが分かる。

5. まとめ

地盤高さを低くすることにより、土槽のピッチング動が地盤の液状化挙動に及ぼす影響を低減できることが分かった。従って、模型実験の実施に際し土槽のピッチング動が含まれる場合、影響度に依り、想定する地盤の応答が損なわれない範囲で地盤高さを低くすることが望ましい。

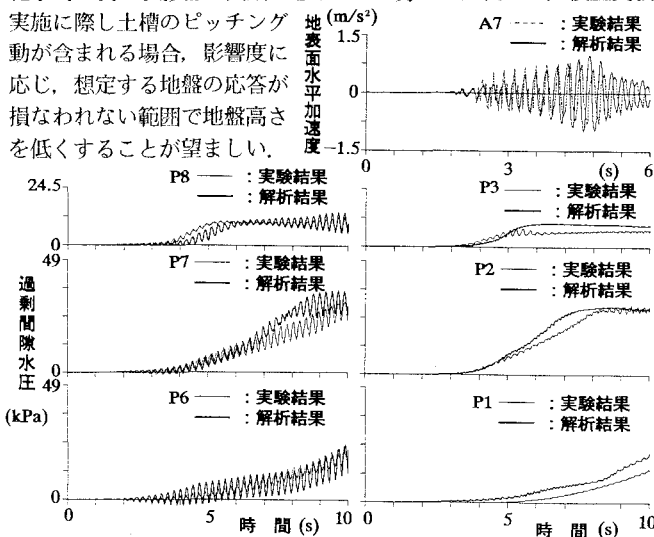


図-5 液状化加振時における実験結果と解析結果

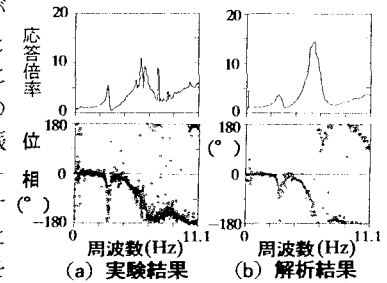


図-4 微小加振時における水平加速度の伝達関数(A7/A2)

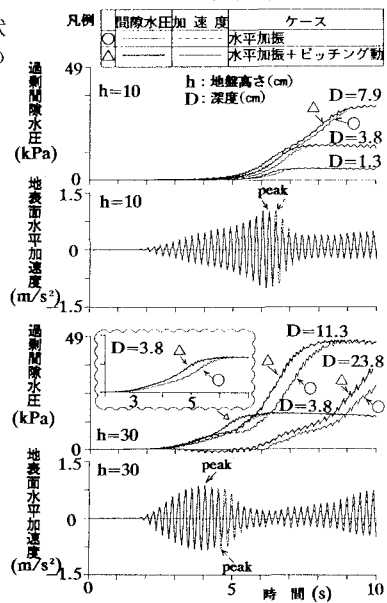


図-6 ピッチング動と各地盤高さの地表面水平加速度(解析結果)

[参考文献] 1) 本間清彦、鄭京哲、鈴木理恵、大保直人：動的遠心模型実験における土槽境界処理と加振誤差に関する検討、鹿島技術研究所年報、VOL. 41, 1993, 10 2) J. H. Prevost; DYNAPLOW: A nonlinear transient finite element analysis program, Dept. of Civil Eng. and Op. Research, Princeton University, last update 1992