

第Ⅲ部門

遠心力载荷装置を用いたハイブリッド地震応答実験手法の開発

京都大学工学部 学生員 ○小寺 雅子
 京都大学防災研究所 正会員 高橋 良和
 京都大学防災研究所 正会員 澤田 純男

1. はじめに

構造物の地震応答を考える上で、地盤の影響は大きく、構造物と地盤の動的相互作用に関する研究は、解析的、実験的の両面から精力的に行われている。地盤を対象とした実験研究を行う場合、遠心模型実験が有効である。これは遠心力によって高重力場を発生させ、縮小模型と実大スケールの地盤応力状態を一致させることができるためであるが、遠心模型実験では模型が小さすぎるために、複雑な構造物を再現することは難しく、上部構造物の非線形性などを適切に評価することは困難である。この問題を解決する方法として、遠心場ハイブリッド実験を適用する手法を提案する。ハイブリッド実験とは、コンピューターで行う数値解析と実際の加力実験を組み合わせることで構造物の地震応答を再現する実験手法である。

本研究では構造物－杭基礎－地盤系の遠心ハイブリッド実験を実施し、遠心振動台実験との比較から動的相互作用問題への適用性を検討する。

2. 構造物－杭－地盤系のモデル化

対象とするモデルは図 1(a)に示す、構造物－基礎－地盤系である。これをハイブリッド実験では線形構造物と基礎の水平振動のみを対象とした 2 質点系のモデルに置き換えて、動的相互作用を取り扱う。図 1(b)に示すように、ハイブリッド実験では構造物と地盤の相互作用を表す動的地盤ばねを設定し、この復元力 R を実験から求める。 $F_1 \cdot F_2$ は上部構造物とフーチングの慣性力を表している。ハイブリッド実験の運動方程式は次式ようになる。

$$[M]\{\ddot{x}\} + [C]\{\dot{x}\} + [R] = -[M]\{\ddot{U}_g\} \quad (1)$$

ここで、 $m_1 \cdot m_2$ は上部構造物及びフーチングの質量、 x は上部構造物及び基礎部のフーチング位置の水平変位、 U_g は地盤変位を表す。上部構造物の剛性は振動台実験で得られた結果を基に設定し、 C は地盤の非線形の影響が大きいと考え 0 とした。

3. 実験概要

実験は京都大学防災研究所の遠心载荷装置を用い、40G 場で行った。土槽は剛土槽を用い、地盤材料には珪砂 7 号を使用し、相対密度 70%になるように調整した。基礎模型はフーチングと杭から構成され、杭模型は幅 6mm、奥行き 10mm の角柱アルミ杭 4 本で杭頭、杭端共に剛結合とした。土槽、地盤、杭模型は両

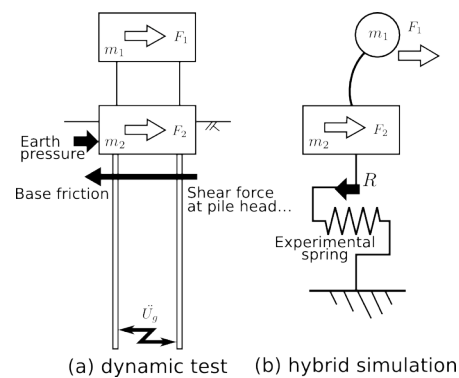


図 1 モデル図

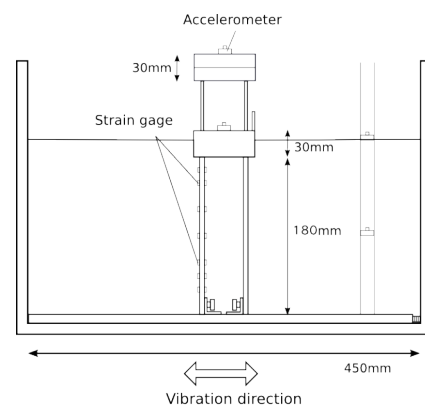


図 2 振動台実験模式図

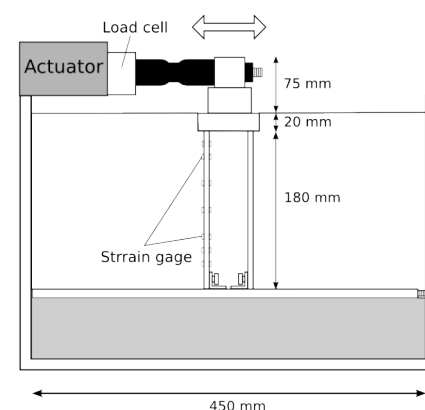


図 3 ハイブリッド実験模式図

実験に共通である。

遠心振動台実験の模式図を図2に示す。上部構造物をおもりと板バネでモデル化し、線形を仮定した。フーチングと上部構造物マスの質量はそれぞれ0.752kg、0.858kgである。入力波はJR 鷹取記録EW成分変位波形を最大振幅4mmに調整したものを用いた。

ハイブリッド実験の模式図を図3に示す。アクチュエーターとの連結が可能な高さまで、基礎上面に剛ブロックを付加している。地盤応答は振動台実験で得られた加速度記録を入力し、実物スケールによる運動方程式を解き計算する。計算で得られたフーチングの変位を相似則に従い変換し、アクチュエーターの水平移動によって、フーチングの変位制御を行う。入力波は振動台実験で得られた加速度を用いた。

4. 振動台実験とハイブリッド実験の比較

実験結果は相似則により実物スケールで記す。図4に両実験の変位時刻歴を示す。振動台実験結果には基礎部に残留変位が見られるものの、両実験結果は上部構造物、基礎部共に10秒程度まで良く一致している。上部構造物については、10秒以降ハイブリッド実験結果の方が大きい。これは粘性減衰を0に設定した影響であると思われる。図5に4.32秒での杭の曲げモーメント分布の比較を示す。変曲点の位置、モーメント最大値がほぼ一致しており、遠心場ハイブリッド実験は十分な精度を有していると言える。

5. 非線形構造物の応答

ハイブリッド実験では上部構造物の数値モデルを自由に変化させることができ、非線形構造物を設定することが容易である。ここでは鋼柱の履歴モデルを設定し、ハイブリッド実験を実施した。図6に変位時刻歴と履歴曲線を示す。図4に比べて基礎部の変位が小さい。上部構造物がエネルギー吸収した結果、基礎部の応答が小さくなったことを評価することができた。

6. まとめ

遠心場ハイブリッド実験を提案し、地盤特性を正確に反映したシミュレーションを行うことができ、振動台実験と比較した結果、良い精度で一致することを確認した。また、非線形の上部構造物を仮定しハイブリッド実験を行いその影響を評価できた。以上より、遠心場ハイブリッド実験は、構造物・地盤が非線形となる現象を取り扱うための、有力な実験手法であることが示された。

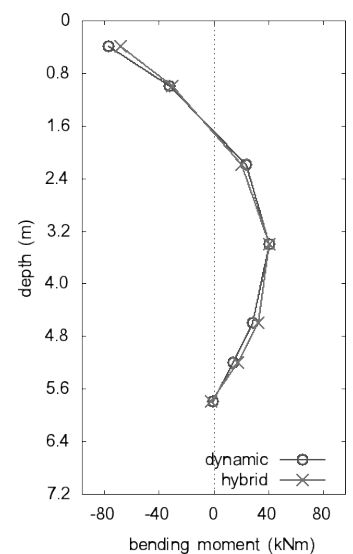


図5 曲げモーメント分布

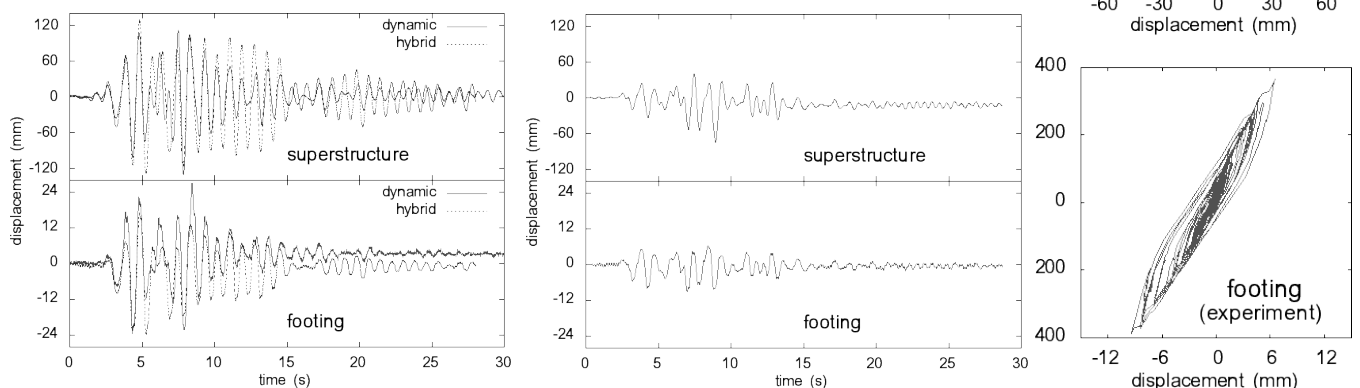


図4 変位時刻歴の比較

図6 ハイブリッド実験による非線形構造物の応答