

地震時に塑性化する杭模型の遠心場における液状化実験とその有効応力解析

大成建設 土木技術研究所 正会員 立石 章 宇野 浩樹

1. はじめに

著者らは、液状化時の杭基礎の耐震安全性評価への有効応力解析の適用性を調べることを目的として、飽和砂地盤中に設置された杭基礎の動的遠心実験を行い、有効応力解析を用いてシミュレーションを試みている¹⁾。本報告では、震動により塑性化させることを目標とした鋼管杭模型のケースについて、遠心実験結果および有効応力解析結果について報告する。

2. 遠心模型実験

動的遠心実験は 40g 場で実施した。実験模型および計測器配置を図 1 に示す。地盤模型は、せん断土槽内に豊浦砂を用いて相対密度 $Dr=60\%$ の上層（層厚 22cm）と 90% の下層（層厚 10cm）から成る 2 層地盤を振動締固めにより作製し、40cSt のシリコンオイルにより飽和させた。杭模型は直径 9.5mm、肉厚 0.25mm で図 2 に示す応力～ひずみ関係を有する鋼管パイプであり、杭間隔 6D で 2×2 の 4 本群杭とした。杭頭は剛結とし、杭下端はせん断土槽に設置し、水平方向拘束、回転および引抜きは自由とした。建屋基礎模型は鋼鉄製とし、40g 場における杭体の軸応力が一般的な建屋の

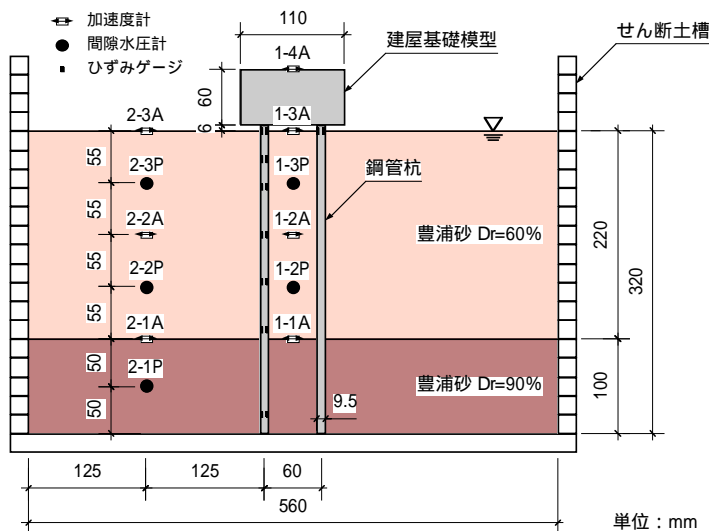


図 1 実験模型および計測器配置

杭軸応力と同程度となるような重量を与えた。入力地震動は、兵庫県南部地震におけるポートアイランド観測波 GL-83m E W成分とした。動的遠心実験結果時刻歴を図 3～図 5 に、杭頭および地中部それぞれの最大曲率発生時刻における曲率深度分布を図 6 に示す。図より以下のことがわかる。

(1) $Dr=60\%$ の上層では主要動中に完全液状化し、 $Dr=90\%$ の下層では過剰間隙水圧比は 0.7 程度で液状化には至っていない。(2) 杭頭の曲率は上層が完全液状化に至る直前に最大応答を示し、同時刻深度分布は上層内に極大値を持つ分布となっている。一方、地中部の曲率は上層液状化後に地層境界で最大応答を示し、同時刻深度分布は杭頭と地層境界間で直線分布となっている。いずれの時刻とも杭頭および地中部で降伏曲率を越えている。

3. 有効応力解析によるシミュレーション

動的遠心実験結果を 2 次元有効応力解析プログラム LIQCA²⁽³⁾によりシミュレーションした。地盤は繰返し弾塑性モデル³⁾を用いた平面ひずみ要素でモデル化し、豊浦砂の液状化強度は液状化強度試験より与え、その他の物性は既往の研究成果を用いた。杭模型は軸力変動を考慮するためファイバー要素でモデル化し、杭と地盤とは水平方向剛結、せん断方向は摩擦強度を極限值とするバイリニアールモデルのばね要素で結合し、杭下端は引張カットのばねを挿入した。力学的境界条件は、両側面は等変位境界、底面は完全固定とし、透水の境界条件は両側面、底面は不透水、地表面は排水境界とした。液状化強度曲線と繰返し弾塑性モデルによる要素シミュレーション結果を図 7 に、有効応力解析結果として動的遠心実験結果と同一位置の応答時刻歴を図 3～図 5 に、実験結果とほぼ同時刻でピークを示す時刻における曲率深度分布を図 6 に重ねて示した。図より以下のことがわかる。

(1) 加速度時刻歴は、解析は実験に比べ全般的に高い振動数が乗っているが、側方地盤地表では液状化後は実験

キーワード：杭、液状化、遠心模型実験、有効応力解析

連絡先：〒245-0051 横浜市戸塚区名瀬町 344-1 TEL 045-814-7236 FAX 045-814-7253

と同様に長周期化している。過剰間隙水圧時刻歴は、解析は実験に比べて上昇速度が若干早い、上層、下層の液状化の程度はシミュレートできている。曲率時刻歴は、解析は実験のように残留していないが、液状化後の両者の振幅は比較的良好一致している。(2) 曲率の同時刻深度分布は、解析は実験と定性的によく一致しており、液状化前後での曲率分布の変化が表現できているが、杭頭の最大曲率は解析の方がやや小さい結果となっている。

4. おわりに

飽和砂地盤と杭との動的相互作用問題を対象として動的遠心実験を行い、2次元有効応力解析を用いてシミュレーションした。今後は3次元解析を実施して、2次元のモデル化について検討する予定である。

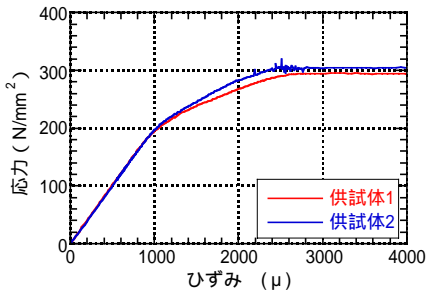


図2 引張試験による杭の応力～ひずみ関係

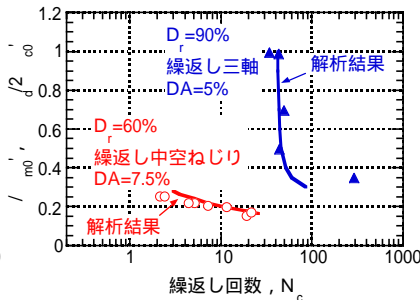


図7 要素シミュレーション結果

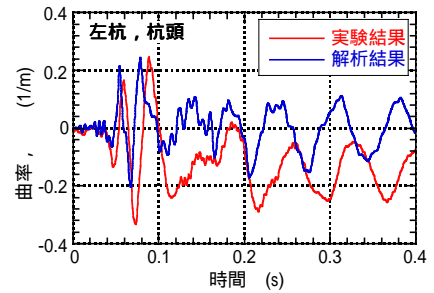


図5(a) 曲率時刻歴（左杭，GL-0mm）

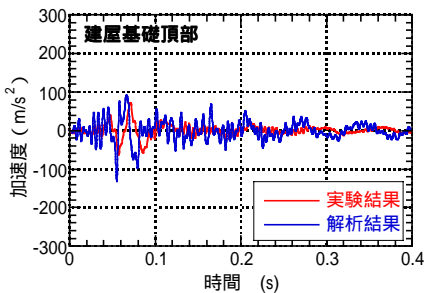


図3(a) 応答加速度時刻歴（1-4A）

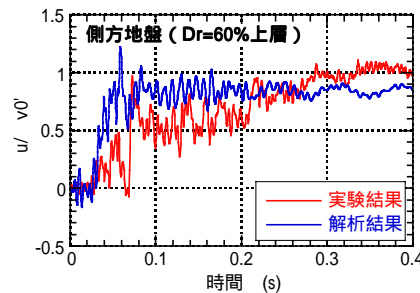


図4(a) 過剰間隙水圧比時刻歴（2-3P）

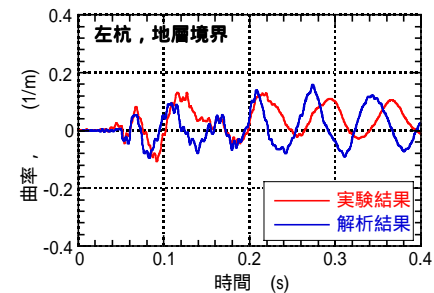


図5(b) 曲率時刻歴（左杭，GL-210mm）

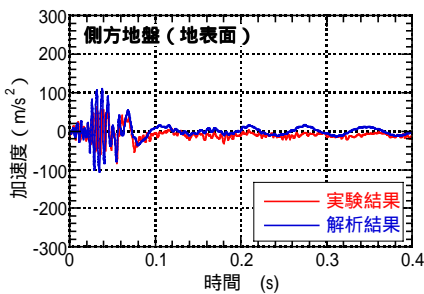


図3(b) 応答加速度時刻歴（2-3A）

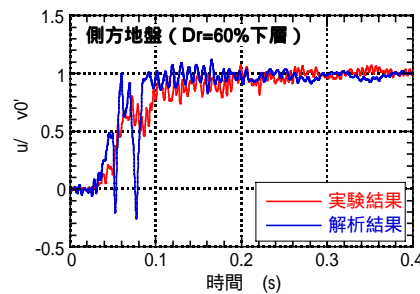


図4(b) 過剰間隙水圧比時刻歴（2-2P）

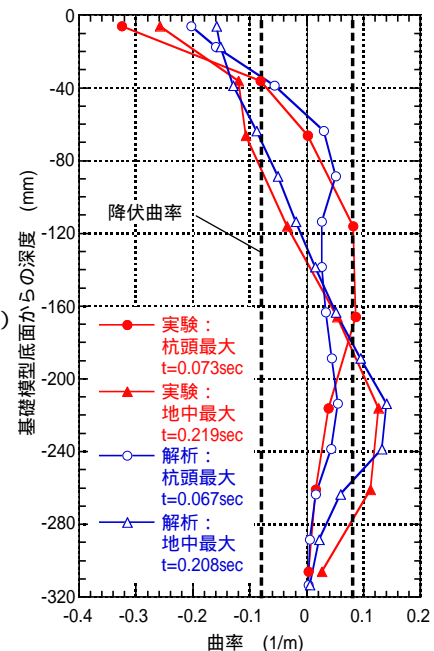


図6 曲率の同時刻深度分布

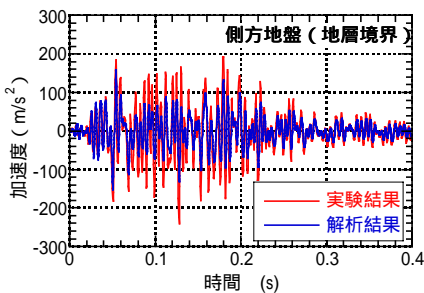


図3(c) 応答加速度時刻歴（2-1A）

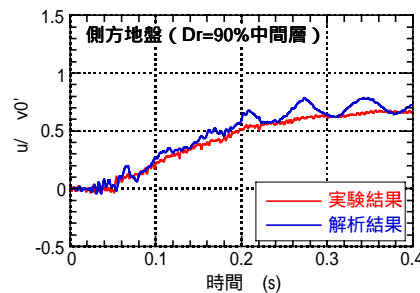


図4(c) 過剰間隙水圧比時刻歴（2-1P）

参考文献

1) 宇野・立石：液状化地盤中の杭基礎の動的遠心実験とその有効応力解析，第39回地盤工学研究発表会（投稿中），2003. 2) Oka, F. et. al. : FEM-FDM coupled liquefaction analysis of a porous soil using an elasto-plastic model, Applied Science Research, 52, pp.209-245, 1994. 3) Oka, F. et. al. : A cyclic elasto-plastic constitutive model for sand considering a plastic-strain dependence of the shear modulus, Geotechnique 49, No.5, pp.661-680, 1999.