

液状化地盤における地中構造物の地震応答解析とSCP地盤改良の効果

熊本大学工学部
熊本大学大学院
熊本大学大学院
熊本大学工学部

正 員
学生員
学生員
○学生員

秋吉 卓
伊藤 良二
王寺 秀介
小川 勇人

1. はじめに

近年の上部構造物の多様化、高層化さらに軟弱地盤地域での施工に伴い、杭などの地中構造物への依存性はますます高まっているが、先の兵庫県南部地震では液状化に起因した地盤の流動・沈下に伴い、杭基礎の破損等の様々な被害が発生した。そこで、本研究では、波動累積プログラムWAP3¹⁾により地盤の締固めをシミュレートし、非線形2次元有効応力解析プログラムNUW2²⁾を用いて、杭基礎と地盤液状化とを連成させた地震応答解析を行って、地盤改良の効果について検討を行った。

2. 解析手法

本研究で開発した、2次元FEM、有効応力法による液状化解析プログラム(NUW2)²⁾が稼働中であるが、これに、杭構造物を扱うために梁要素を導入した。本来、杭構造物を解く場合は、3次元解析が必要となるが、本研究では、杭-地盤系に対して、地中構造物への荷重分担率が3次元モデルと等価になるように地盤剛性を補正し³⁾、2次元有限要素法を用いて、地中構造物の挙動解析を行った。

3. 本解析手法の妥当性の検討

図-1中の(a)は、1964年新潟地震時の信濃川沿岸の川岸町における液状化した地域の杭基礎の実被害データ⁴⁾であり、同一の地盤-杭-上部構造物(信濃川右岸に位置する、鉄筋コンクリート造3階建の建物)モデルに対して、新潟地震の地震波を用いたときの、NUW2による応答解析の結果による地盤(杭)の残留変形の結果を(b)として示した。解析結果は、よく実現象を説明しており、液状化解析プログラムNUW2を用いた地盤-構造物の連成解析手法の妥当性がわかる。

4. 解析モデル

本研究では、地盤-杭-構造物系の地震応答特性を調べるため、解析モデルとして、図-2に示す深さ20m、幅40mの実地盤スケールで、上部構造物の重量は2940kN、支持杭として、直径0.70m、厚さ14mm、長さ20.0mの鋼管杭を杭間隔4.0mに想定した。土質は飽和砂-様地盤とし、単位体積重量は19.1kN/m³、入力波形は、1940年E1 Centro-N S成分波(最大加速度200gal=0.2G)である。また、解析モデルの諸元は、表1に示すが、ここに示す表1中の「地盤-2」は「地盤-1」がSCPなどの地盤改良により一様に締固まったものを想定したものである。その場合の、基盤までの締固めによる目標平均N値としてN_k(N₁)は20を仮定した。

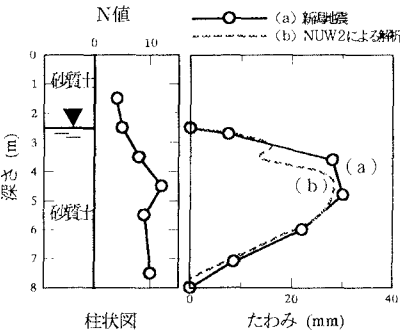


図-1 地盤の杭の残留変形比較

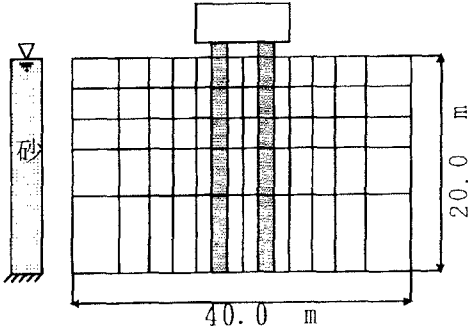


図-2 解析モデル図

表-1 解析モデル諸元

モデル種類	地盤条件	地盤剛性 (N値)
地盤-1	無対策	5程度の 一様地盤
地盤-2	改良地盤	20程度の 一様地盤

5. 解析結果

深さ10m地点における過剰間隙水圧比の時刻歴変化を図-3に示す。図より、無対策地盤では容易に液状化が発生しているが、施工後では、過剰間隙水圧の発生はほぼ抑えられている。図-4から、打設による地盤剛性が増すにつれて杭の加速度は大きくなるが、図-5より、地盤を改良することによって杭の相対変位をかなり抑えることができる。図-6は、間隙水圧比の上昇前(受震3.0sec後)と後(受震6.0sec後)における杭の曲げモーメントを示している。無対策地盤の方は、水圧の上昇に伴い杭の変形が大きくなっているが、対策地盤については、杭の変形は杭頭以外ほとんど見られない。さらに、杭の曲げ応力の最大値分布について図-7に示しているが、無対策地盤については、杭の上端部分と下端部分の負担が大きくなっている。これは、上端(杭頭)部分では、上部構造物の慣性力に伴うものと考えられ、下端部分では、杭先端を固定したため、杭の根入付近に、曲げ応力が集中するためと考えられる。対策地盤については、杭頭以外は、全体的に杭の曲げ応力も小さくなっている。しかしながら、地盤改良により上部構造物への加速度の伝達が大きくなるため、結果的には慣性力が無対策地盤と同程度となり、このモデルにおける地盤改良は、杭頭の応力緩和には役立っていないが、杭の強度($10 \times 10^5 \text{ kPa}$ 程度)の範囲内である。図-8では、杭頭での応力集中の面では、過度な地盤改良は杭頭接合部にとって不利になることを意味している。

6. まとめ

今回、軟弱地盤において、地盤剛性を何らかの方法で改良することにより、杭頭に応力集中が起こることがわかった。「地盤-1」をWAP3で改良した地盤に対する結果については、講演時に述べる予定である。

(参考文献)

- 1) 秋吉・淵田・松本・兵頭・方：サンドコンパクションパイル工法による地盤剛性改良の動的評価について、土木構造・材料論文集、第8号、1992.11、pp.51-60.
- 2) T. Akiyoshi・K. Fuchida・H. Matsumoto・T. Hyodo and H. L. Fang：Liquefaction analyses of sandy ground improved by sand compaction piles, Soil Dynamics and Earthquake Engineering, Vol. 12, No. 5, pp. 299-307, 1993.
- 3) 大平 彰・田倉 隆・中松 新・清水勝美：地盤反力の三次元的効果を考慮した群杭基礎構造物の二次元有限要素法解析モデルの作成方法、土木学会論文集、第356号/1-3, pp. 303-312, 1985年4月.
- 4) 吉田 望・小林 恒一・中村 普：1964年新潟地震で被害を受けたS建物の基礎杭の調査、土と基礎、Vol. 38, No. 6, pp. 39-44, 1990.
- 5) 福岡篤信・安達直人・宮本祐司・酒向祐司：液状化地盤における杭基礎の遠心模型実験とシミュレーション解析、第23回地震工学研究発表会、pp. 377-380, 平成7年7月.

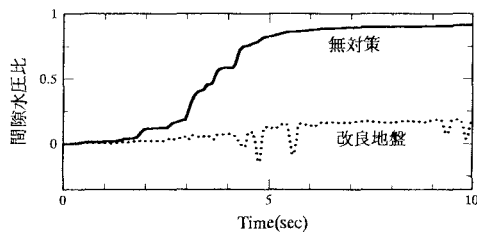


図-3 間隙水圧比の時刻歴変化

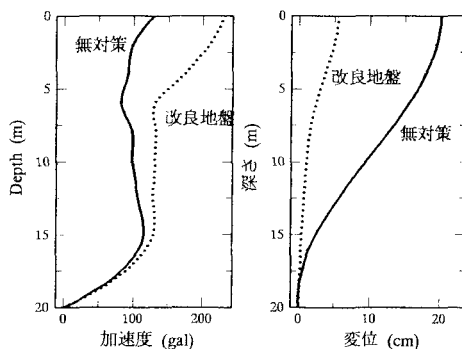


図-4 杭の加速度(最大値) 図-5 杭の変位(最大値)

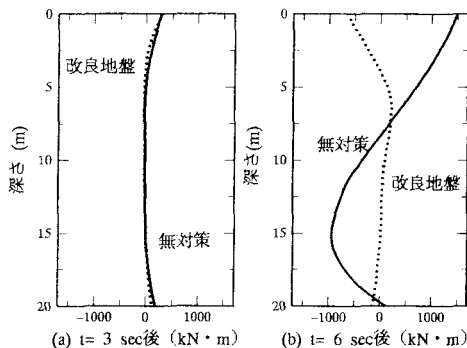


図-6 杭の曲げモーメント図

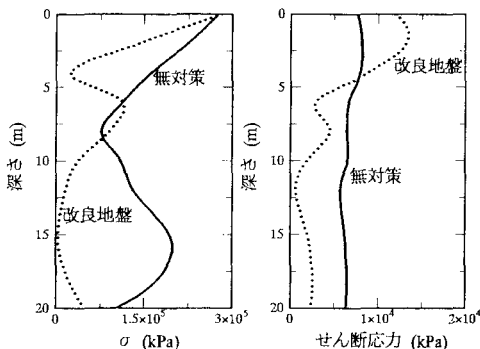


図-7 杭の曲げ応力(最大値) 図-8 杭のせん断応力(最大値)