

I - B 406

埋立地盤における高レベル地震時の杭基礎構造物の応答特性

(株)大林組技術研究所 正員○樋口 俊一 松田 隆 森 拓雄
東京大学工学部 秋山 宏
(財)発電設備技術検査協会 千葉 敏郎

1. はじめに

本報告は、高レベル地震動に対するLNG施設の耐震性を実証することを目的に実施した、大型遠心実験装置を用いた模型振動実験うち、比較的小規模な杭基礎構造物（配管架台基礎）の振動実験結果とその数値シミュレーション結果について述べたものである。

2. 遠心模型振動実験結果

遠心模型実験は、地盤模型に遠心重力を作用させることにより、地盤材料の力学挙動の拘束圧依存性を考慮した実験手法である。本研究では遠心重力50Gにおいて模型振動実験を実施したことから、遠心場における相似則より、杭基礎構造物の縮尺を1/50とした。図1に遠心振動実験に用いた模型の概要を、表1に模型杭（鋼製）の諸元を示す。模型地盤は埋立地盤を想定し、海底支持層を密な砂層で、海底堆積層を圧密粘土層で、埋立層を緩い砂層で作製した。振動実験の入力地震動は、兵庫県南部地震級直下地震動（高レベル地震動：最大基盤加速度400gal相当）を統計的波形合成法¹⁾により作成した。実験では地盤の加速度及び間隙水圧と基礎構造物のひずみを計測した。高レベル地震動による加振試験の結果、以下のことがわかった。

- ①大きな地震入力を受けた埋立地盤の応答倍率は、およそ1.0程度となることがわかった（後掲：図2）。
- ②密な砂層と粘土層の境界部及び粘土層と上部砂層の境界部で、杭に大きな曲げひずみ（塑性率2程度）が発生した（後掲：図5）。
- ③地盤加速度時刻歴の数値積分により地盤のせん断ひずみを算定した結果、粘土層において大きなせん断ひずみが生じており、その最大値はおよそ8%であった。
- ④地盤に大きなせん断ひずみが発生する層の深度と、杭に大きな曲げひずみが生じる位置が一致した。

3. 数値シミュレーション結果

遠心模型振動実験結果について、等価線形化法²⁾及び有効応力法³⁾による2次元FEM解析を実施した。等価線形化法における地盤材料の動的変形特性は、小型遠心実験装置を用いた要素試験等により求めた⁴⁾。一方有効応力法の解析パラメータは、地盤材料の要素試験シミュレーションにより設定した。

図2～図4は実験結果と等価線形解析、有効応力解析の地盤及び構造物の加速度応答を示したものである。地盤内の加速度の増幅は、実験及び両解析とも下部砂層で増幅がほとんど見られず、粘土層で減衰するとともに、応答倍率がほぼ1となる傾向が示されている（図2）。地表面の加速度応答波形は、等価線形解析では実験値より大きく、有効応力解析では若干小さいものの、位相については良く一致している（図3）。地盤の伝達関数は、等価線形解析よりも有効応力解析のほうが解析値と一致する傾向がある（図4）。

図5～図6は地盤中の杭の曲げひずみ応答を比較したものである。実験結果と同様、解析においても砂層と粘土層及び粘土層と上部砂層の境界部で、杭に大きな曲げひずみが発生している（図5）。一方、杭と基礎フーチング接合部の最大曲げひずみは地盤境界部よりも小さく、杭が地盤内部で損傷する可能性を示している。下部砂層においては実験では比較的大きな曲げひずみが見られるのに対し、等価線形解析では境界から離れると杭のひずみは急激に減少している。有効応力解析では、下部砂層中で杭の曲げひずみが発生しており、地盤中に発生する過剰間隙水圧の影響を考慮することで、地盤の剛性低下をよりの確に表現できることがわかった。ただし、等価線形解析、有効応力解析とも、今回の計算では杭の非線形性や地盤の局所的な非線形性を考慮していないため、曲げひずみの最大値は実験値よりも解析値のほうが大きくなっている。杭の曲げひずみの応答波形（図6）は、振幅は解析値のほうが上回るものの、位相は実験値と一致している。

遠心模型実験、杭基礎、振動実験、等価線形解析、有効応力解析

〒204-0011 東京都清瀬市下清戸 4-640 Tel. 0424-95-0947 e-mail. higuchis@tri.obayashi.co.jp

4. まとめ

埋立地盤上の比較的小規模な杭基礎構造物の振動実験結果と、その数値シミュレーション結果を比較した結果以下のことがわかった。

- ①大きな地震入力を受けた埋立地盤では中間粘土層で加速度が減衰し、地表面の応答倍率が1.0程度となる。
- ②密な砂層と粘土層の境界部及び粘土層と上部砂層の境界部で、杭に大きな曲げひずみが発生する。
- ③等価線形解析、有効応力解析とも、杭の非線形性や地盤の局所的な非線形性を考慮しない場合、曲げひずみの最大値が実験値よりも解析値のほうが大きくなる傾向がある。

今後は杭の非線形性を考慮した解析を実施し、さらに考察を深める予定である。なお本研究は、（財）発電設備技術検査協会が国の委託を受けて実施した「発電設備耐震信頼性実証試験」のうち、LNG地上式タンクの耐震実証試験の一環として実施したものである。ここに記して関係者各位に謝意を表する。

参考文献

- 1) 釜江克宏・入倉孝次郎・福知保長(1991):地震の「リング」則に基づいた大地震時の強震動予測-統計的波形合成法による予測-, 日本建築学会構造系論文報告集, No.430.
- 2) Lysmer, J., 他(1975) "FLUSH-," Earthquake Engineering Research Center, EERC 75-30.
- 3) 伊藤浩二(1995): 動的有効応力解析プログラム [EFFECT], 大林組技術研究所報No.53.
- 4) 樋口俊一(1998): 遠心実験装置を用いた地盤材料の動的変形特性の評価, 第53回土木学会年講概要集.

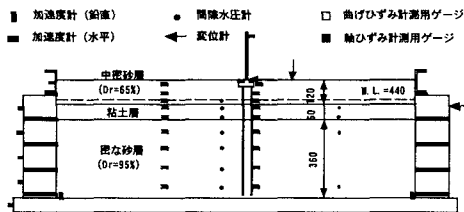


図1 遠心振動実験模型（配管基礎モデル）

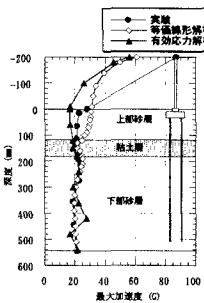


図2 応答加速度最大値分布

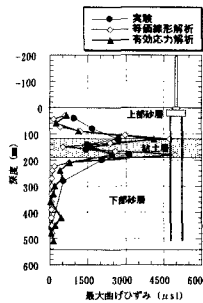


図5 杭の曲げひずみ最大値分布

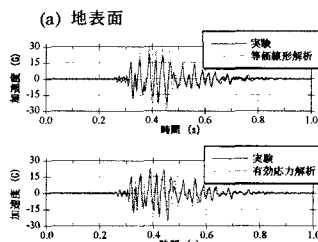


図3 加速度応答時刻歴波形

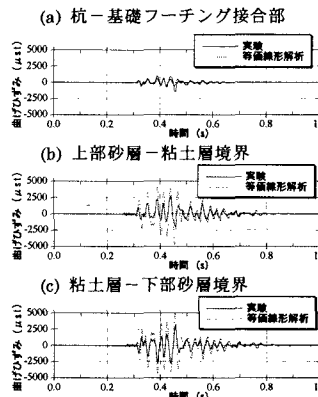


図6 杭の曲げひずみ時刻歴波形

表1 模型杭の諸元（実測値）

	実杭	模型杭
外径 (mm)	400	7.98
肉厚 (mm)	12	0.29
I (mm ⁴)	2.76×10 ⁸	4.63×10 ²
E (MPa)	205,800	224,000
σ_y (MPa)	-	360
ε_y (μ st)	-	1,600

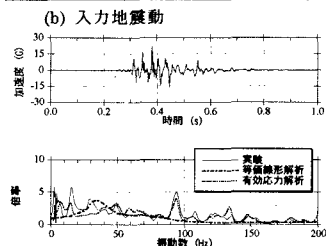


図4 地盤の伝達関数