

高レベル地震時の群杭基礎の応答に対する応答変位法の適用性

(株)大林組技術研究所 正会員 樋口俊一 正会員 後藤洋三
(財)発電技検 千葉敏郎

1. はじめに

LNG地上式タンク基礎及びタンク配管基礎の高レベル地震(L2地震)時の耐震信頼性の実証と、損傷モードの確認を目的として遠心模型振動実験¹⁾を実施した。実験結果に対し、応答変位法を用いたシミュレーションを実施し、高レベル地震時の群杭基礎の応答に対する応答変位法の適用性を検討した。

2. 高レベル地震時の埋立地盤のタンク群杭基礎の応答

図1に高レベル地震時(入力800gal相当)を想定した遠心模型振動実験による、タンク基礎の代表的な杭の曲げひずみ分布を示す。杭に発生した曲げひずみは、杭頭部で3,000 μ ~ 4,000 μ 程度、粘土層と下部砂層の境界部では2,000 μ ~ 3,000 μ となり、杭が降伏して非線形領域に入った。これは、タンク基礎底版が高床式で接地していないため杭頭に作用するタンク慣性力の影響が大きいことと、砂層に挟まれた粘土層で大きなせん断ひずみが発生し、杭に大きな強制変位が与えられたことに起因している。

3. 応答変位法による群杭基礎の解析

本研究では鉄道構造物等設計標準・同解説、耐震設計²⁾に取り入れられている、地盤の応答変位を考慮した静的解析方法に準じた解析を行った。解析モデルを図2に示す。杭は非線形梁要素で、地盤はばね要素でモデル化した。杭総数32本から成る群杭基礎を、図3に示したグループに分けて3本の杭に縮約した。杭の縮約においては地盤の変形モードがせん断変形であることから、杭の断面定数について断面積A及び断面2次モーメントIを各杭本数分足し合わせた。杭要素には遠心模型実験で用いたミニチュア鋼管杭の載荷試験結果より、図4に示す非線形特性を導入した。地盤の非線形性の影響は、地盤ばねの算定に際して遠心実験結果より求めた地盤各深度の地盤要素の動的せん断剛性 G_D を、地盤反力係数 k_h の算定に用いることで考慮した。群杭効果については杭間隔が $6.75D$ (D は杭径)であることから考慮していない。

ここで、水平地盤反力係数 k_h は鉄道構造物等設計標準(基礎標準)³⁾より

$$k_h = f_{rk}(0.2\alpha E_0 D^{3/4}) \quad (1)$$

k_h : 設計地盤反力係数, f_{rk} : 補正係数, E_0 : 地盤の変形係数, D : 杭径, f_{rk} : 地盤抵抗係数にて算定した。上式において地盤の変形係数 E_0 を動的せん断弾性剛性 G_D より次式

$$E_0 = 2G_D(1+\nu) \quad (2)$$

G_D : 地盤の動的せん断剛性, ν : ポアソン比

を用いて算定した。この時 f_{rk} は1.0とした。また、設計ばね定数 K_h は次式で算定される。

$$K_h = k_h \cdot D \cdot \Delta l \quad (3)$$

K_h : 設計水平地盤反力係数, D : 杭径, Δl : 水平ばね定数を算定する範囲の杭長

杭は地上部でタンク底版に見たてた剛な梁要素で結合し、底版から立ち上げた剛な梁をタンクとした。

地盤の応答変位は、遠心実験で得られた地盤の変位時刻歴において、地表面変位が最大となる時刻の各深度の地盤変位から基礎変位を引いて求めた相対変位とした(図5)。慣性力は、遠心実験でのタンク底版加速度とタンク天端加速度のそれぞれの最大値を抽出し、その平均値をタンク加速度としてタンク質量との積をタンク慣性力と、タンク底版質量とタンク底版最大加速度の積を底版慣性力とした。これらの応答変位及び慣性力を静的荷重として地盤節点及びタンク底版、タンク重心位置に同じ向きに同時に作用させた。

4. 解析結果

図6~7に杭の変位及び曲げモーメント分布を示した。タンク底版の水平変位は1.07cmで地表面の地盤変位よりも大きい。杭頭の杭の曲げモーメントは5.69Nmで杭体の降伏モーメント(4.0Nm)を超え、実験結果と同様に杭頭が損傷を受けることが示された。地盤中の杭の曲げモーメントは地表面直下(GL=-3cm)で一度極小値を示すが、GL=-21cmで4.51Nmとなり、杭体の降伏モーメントを超えた。遠心実験では、粘土

Key word: 群杭基礎, 動的相互作用, 埋立地盤, 応答変位法

連絡先: 204-0011 東京都清瀬市下清戸 4-640 Tel.: 0424-95-0910 Fax.: 0424-95-0909 e-mail: higuchis@tri.obayashi.co.jp

層 - 下部砂層境界部 (GL=-18cm) で杭に大きな曲げひずみの発生が認められたが、この解析では最大曲げモーメントの発生位置にずれが見られた。これは、解析に用いた地盤の応答変位が実験結果を関数補間したもので、変位分布形状が実際と異なっていることが一因であると考えられる。図8に地盤内部での杭の曲率分布を整理したが、解析値は実験値とほぼ同様の曲率分布となった。杭はタンク基礎底版及び下部砂層中で降伏しており、この時の杭の曲率は降伏曲率の実験、解析とも2.5倍～3倍程度と一致した。一方、遠心実験では基礎底版外側の杭のほうが、基礎底版接合部での杭の曲げひずみや曲げモーメントがより大きくなる傾向が見られたが、本解析ではどの杭においても発生した曲げモーメント値に差は見られない。

5. まとめ

高レベル地震時を想定した群杭基礎の遠心模型振動実験に対し、応答変位法を用いたシミュレーションを実施し適用性を検討した。その結果、地盤や杭が非線形化しているにもかかわらず、解析でも実験値とほぼ同様の杭の曲率分布が得られた。一方、実験で確認された群杭効果については表現することができなかった。しかしながら、この解析により遠心実験で確認された損傷モードが予測できることが明らかとなり、高レベル地震時に地盤変位が大きくなるのが想定される場合の群杭基礎の解析には、地盤の応答変位を考慮した計算法の適用性が高いものと考えられる。

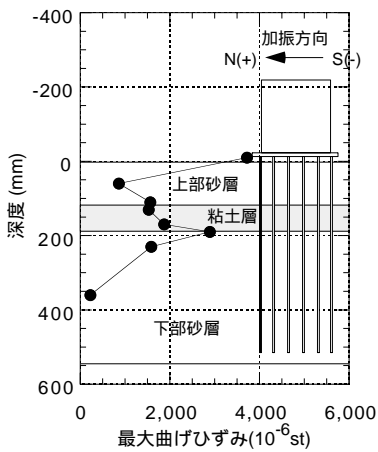


図1 遠心模型振動実験による杭の曲げひずみ分布 (800gal 加振)

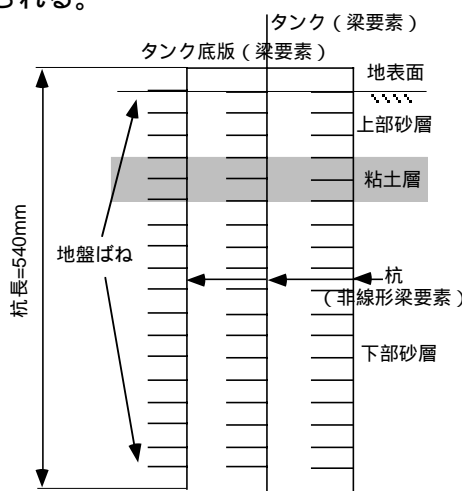


図2 群杭基礎モデル

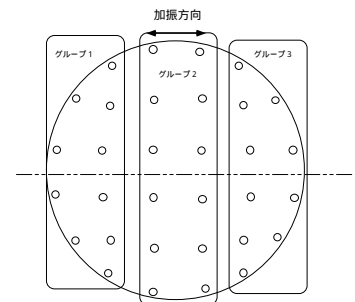


図3 群杭基礎の縮約化

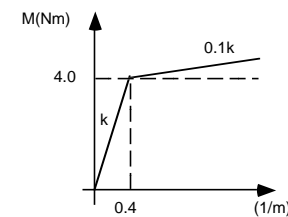


図4 杭要素の非線形特性

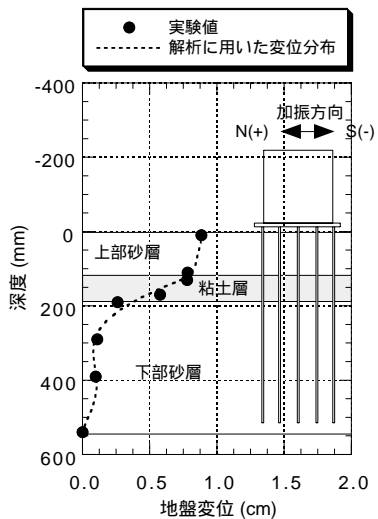


図5 遠心模型振動実験による地盤の変位分布 (800gal 加振)

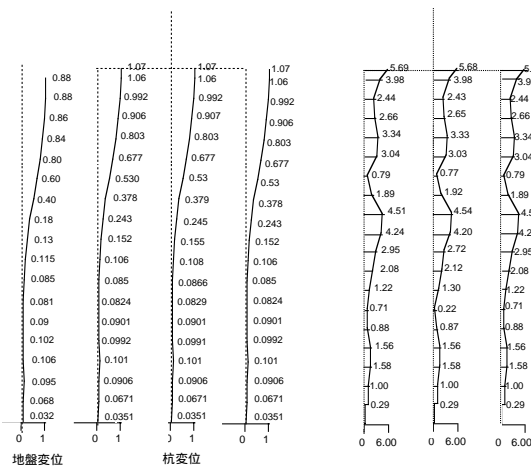


図6 地盤及び杭の変位分布 (単位: cm)

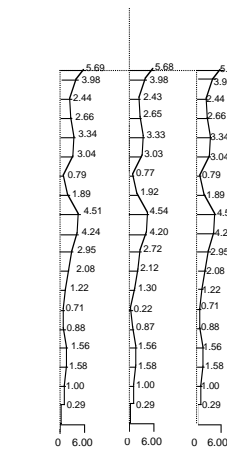


図7 杭の曲げモーメント分布 (単位: Nm)

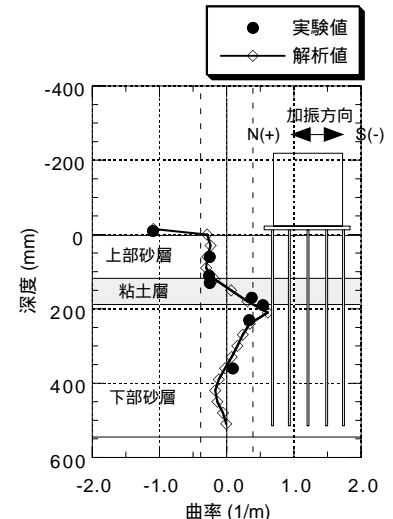


図8 杭の曲率分布

謝辞：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。ここに記して関係各位に謝意を表す。

参考文献：1) 樋口他：埋立地盤における群杭基礎構造物の高レベル地震時の挙動，第25回地震工学研究発表会，1999年7月．2) (財)鉄道総合研究所：鉄道構造物等設計標準・同解説，耐震設計，平成11年11月．3) (財)鉄道総合研究所：鉄道構造物等設計標準・同解説，基礎構造物・抗土圧構造物，平成9年3月．