

III-A 171 兵庫県南部地震で被災した貯油タンク基礎の解析的検討

関西電力㈱ 正会員 寺田昌史
 大林組技術研究所 同 伊藤浩二
 同 後藤洋三

1. はじめに

本報では、1995年1月17日の兵庫県南部地震で被災した関西電力㈱の発電所諸施設の内、杭基礎の被害が生じた4000kℓ貯油タンク基礎に対して、タンク-杭-地盤系の2次元有効応力解析と軸対称回転体モデルによる全応力解析からその被災要因を検討する。

2. 被害の概要

当該地点と諸施設を図1、2に示す。発電所構内の被災後調査では、液状化が生じたと推定される噴砂が確認され、地盤沈下が70cm程度、南西両護岸で水平移動が150cm程度生じた。貯油タンク基礎では、試掘による外周の基礎杭頭部の目視調査の結果、杭頭部でのひびわれが確認された¹⁾。

貯油タンク基礎の諸元を図3に示す。貯油タンクは、総重量3140.1tf(基礎マット重量728.4tf、貯油タンク重量109.1tf、被災時原油重量2302.6tf)を120本のPC杭(φ400、ℓ=30m)で支持される。

3. 解析モデル

解析モデルを図4、5に示す。図4では、図3の破線で示す12本のPC杭を含む杭間隔1.7mをモデル化し、奥行き基礎マット重量72.8tf、貯油タンク重量241.2tfを仮定した。基礎マットは、基礎マット中央の集中質量(=7.43ton)と回転慣性(=283.2ton・m²)を有する剛なはり要素、貯油タンクは、被災時の液体-側壁の連成振動のバルジング振動の固有周期(=0.12秒)と一致する断面2次モーメントと断面積、貯油タンク重心(=5.04m)の集中質量(=24.6ton)を有するはり要素、PC杭ははり要素(杭頭固定)でモデル化した。

図5では、タンク側壁、屋根をシェル要素、原油(被災時液深9.88m)を液体要素、PC杭を群杭要素(杭頭固定)でモデル化した。

図4では、図6のボーリング柱状図を基に液状化対象層のB₁層とB_L層、シルト質粘土のA_C層を二相の非線形材料、D_S層を二相の線形材

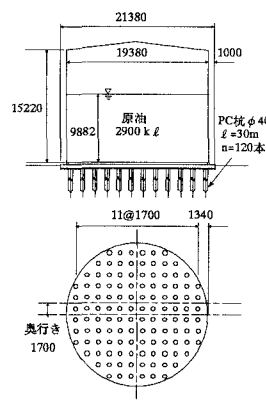


図3 貯油タンク基礎の諸元

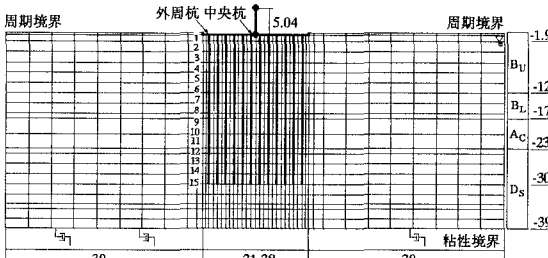


図4 解析モデル(有効応力解析)



図1 発電所位置

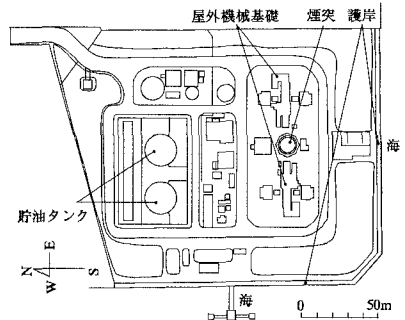


図2 構内配置

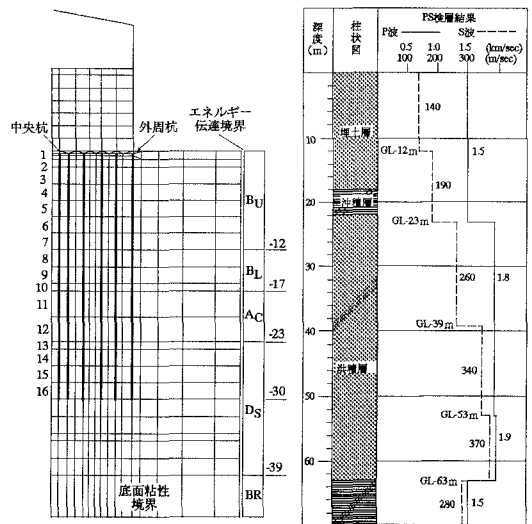


図5 解析モデル(全応力解析)

図6 地盤定数

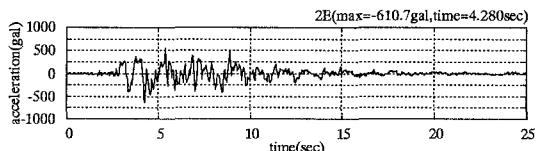


図7 基礎入射波形(2E)

料、 B_0 層、 B_1 層の構成モデル²⁾のパラメータは、一般地盤で室内試験から推定した液化強度比 R_{20} (B_0 層:0.21、 B_1 層:0.28)、杭間地盤で群杭による締固め効果を考慮した R_{20} (B_0 層:0.34、 B_1 層:0.45)を満足するように要素解析から設定した。図5の一般地盤、杭間地盤の B_0 層、 B_1 層、 A_c 層、 D_s 層の入力定数は、別途実施した有効応力解析から推定した表1の等価せん断剛性 G_{eq} 、等価減衰定数 h_{eq} を用いた。応答解析は、関西地震観測研究協議会を通じて公表された兵庫県南部地震のポートアイランド鉛直アレー地震観測記録から推定した図7の基盤入射波(2E)³⁾を用いた。

表1 等価せん断剛性と等価減衰定数

	一般地盤		杭間地盤	
	G_{eq}/G_0	$h_{eq}(\%)$	G_{eq}/G_0	$h_{eq}(\%)$
埋土上部層	0.05	26	0.2	22
埋土下部層	0.05	24	0.2	20
沖積層	0.6	14	0.7	11
洪積層	0.5	15	0.5	15

4. 解析結果

中央杭の最大水平変位と最大断面力の深度分布を図8、9に、曲げ圧縮・引張応力度の検討から許容応力度を超えた杭要素の断面力とPC杭($\phi 400$)のN-M曲線との対応を図10、11に示す。曲げモーメントは、杭頭、埋土層と粘土層との境界で大きな値となり杭頭で最大となる。最小応力時の断面力は、杭頭近傍(図4の杭要素1、図5の杭要素1、2)で破壊曲げモーメントのN-Mu曲線を越え、両解析法で同様の傾向を示している。

外周杭の曲げモーメントは、中央杭と異なり埋土層とシルト質粘土層との境界で最大となり、最小応力時の断面力は、杭頭の他に境界部(図4の杭要素10、図5の杭要素11)においてもN-Mu曲線を越える。

5. まとめ

兵庫県南部地震において杭頭近傍が損傷した貯油タンク基礎を2次元有効応力解析、軸対称回転体モデルによる全応力解析から検討した結果、中央杭の応力度は杭頭で最大となり、外周杭は地盤変位が急変する埋土層とシルト質粘土層との境界においても大きな応力度が生じる。

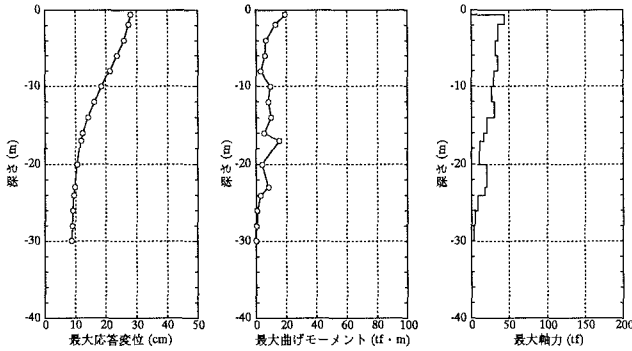


図8 最大変位と最大断面力(有効応力解析)

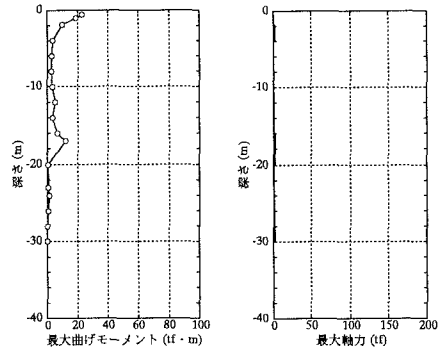


図9 最大断面力(全応力解析)

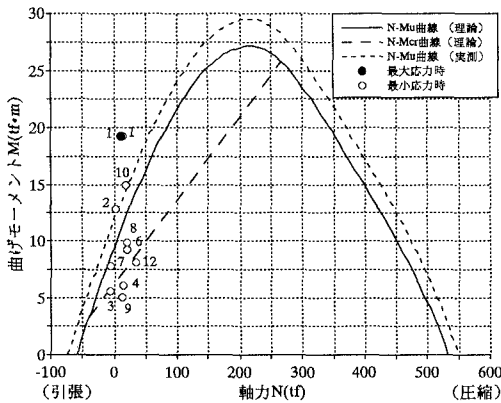


図10 N-M インタクションカーブ(有効応力解析)

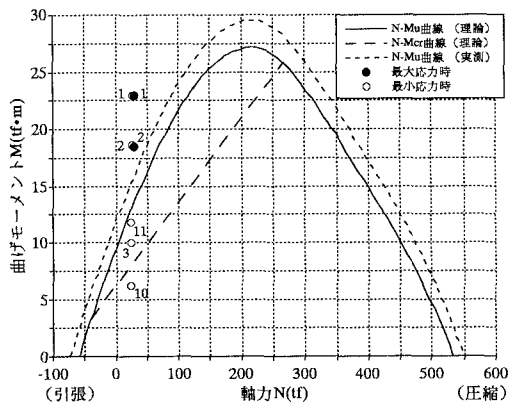


図11 N-M インタクションカーブ(全応力解析)

参考文献

- 1) 寺田他: 火力発電所土木構造物の復旧、阪神・淡路大震災に関する学術講演会論文集、1996。
- 2) 伊藤: 動的有効応力解析プログラム「EFFECT」(その1) - 基礎理論と地盤構成モデル -、大林組技術研究所報、No.51、1995。
- 3) 江尻他: ポートアイランド鉛直アレー地震観測記録を用いた基盤入射波分離の試み、土木学会第50回講演概要集、1995。