

PCタンクの杭頭ピン結合構造に対する非線形時刻歴応答解析を用いた変形性能照査

大成建設（株）

中村 泰介

正会員 高木 宏彰

正会員 ○仁井田将人

1. はじめに

近年、水やエネルギーを蓄える目的で多数のPCタンクが建設されているが、これらのPCタンク（特に大型のPCタンク）のいは基礎版と杭頭の結合方法はその実績の多くが剛結合方法である。しかし、「PC地上式貯槽指針」においては、適切な評価を行うことを前提に杭頭完全固定以外の条件で基礎を設置することが許容されている。

そこで、杭体の塑性化を考慮した非線形時刻歴応答解析によってレベル2地震動に対しての変形性能の照査を行った。本報は、この変形性能照査について報告するものである。

2. 検討条件

国内実績の最大級である内容量18万klのPCタンクを想定した。構造概要を図1に示す。内容液は、LNGを想定した。なお、以下の構造は常時・レベル1地震時において十分な耐力を有していることについては別検討にて確認を行った。

- ・貯槽容量 : 180,000kl
- ・基礎版 : 部材厚 $t=1300\text{mm}$ (一般部)
コンクリート $f'_{ck}=30\text{N/mm}^2$
- ・PC防液堤 : 部材厚 $t=0.600\text{m}$ (一般部)
コンクリート $f'_{ck}=60\text{N/mm}^2$
- ・基礎杭 : 鋼管杭 $\phi 800$ $t=16,9\text{mm}$ 500本
SKK490,SKK400

3. 解析手法

解析手法は3次元FEMによる時刻歴応答解析とした。解析モデル図を図2に示す。

PC防液堤・基礎版と内槽（屋根）は、シェル要素にて軸心位置でモデル化した。LNGは、非圧縮性の流体要素にて漏液を考慮せず内槽内部にのみモデル化した。LNGが内槽側板及び基礎版と接する面については3次元連成要素にてモデル化し、表面は3次元液体表面要素にてモデル化した。杭及び地盤は、バネ要素にてモデル化し、水平方向バネ（加震方向及び加震直角方向）・鉛直方向バネを設置した。回転バネについては、ピン結合構造であるため設置しないこととした。

(1) 杭及び地盤のモデル化

杭及び地盤をモデル化するバネは、プッシュオーバー解析により算出した杭頭反力 P と杭頭変位 δ の関係より設定した。プッシュオーバー解析のモデル図を図3に示す。杭体については、材料非線形特性を考慮したはり要素でモデル化した。材料非線形につ

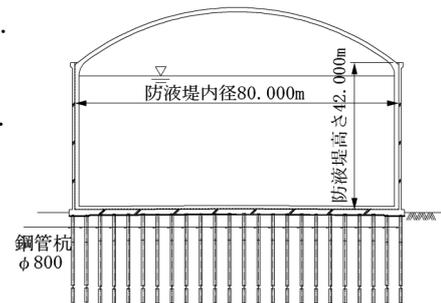


図1 構造概要図

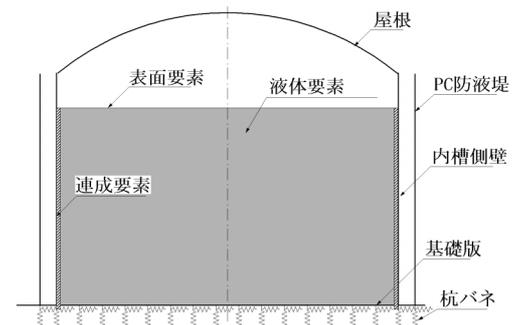


図2 解析モデル図

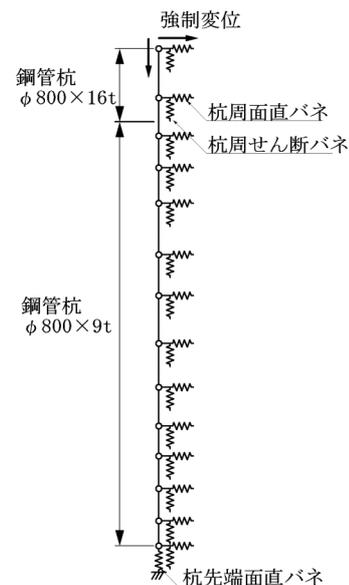


図3 プッシュオーバー解析モデル図

キーワード PCタンク、剛結合、ピン結合、変形性能、塑性、非線形時刻歴応答解析

連絡先 〒163-0606 東京都新宿区西新宿 1-25-1 (新宿センタービル) TEL. 03-5381-5418

いては、杭体の塑性化を考慮した $M-\phi$ 関係を用いた。地盤は、杭周面直方向・せん断方向及び杭先端方向のそれぞれをバネ要素でモデル化した。

水平バネ及び回転バネについてはバイリニアモデルを用い、鉛直バネについては、非線形弾性モデルを用いた。設定した杭バネのうちピン結合の水平バネと鉛直バネを図4に示す。

(2) 地震波の入力

入力地震波は、レベル2地震動を想定して行った等価線形地盤応答解析結果から抽出した地表面での加速度及び速度波形とした。等価線形地盤応答解析においては、阪神高速神戸大橋（GL-35m）におけるNS方向地震波記録から得られる地震波を規定された加速度応答スペクトルに適合するよう振幅調整し、基盤面最大入力加速度210galとして入力した。時刻歴応答解析用の入力地震動の加速度応答スペクトルを図5に示す。

(3) 減衰

減衰については、部材の塑性的挙動から生じる履歴減衰と振動エネルギーの地下逸散減衰の2種類を考慮した。部材の塑性的挙動から生じる履歴減衰は、各要素に等価減衰定数 h （コンクリート部材は0.04、鋼部材は0.025）を設定することによって考慮した。また、振動エネルギーの地下逸散減衰は、レイリー減衰を用いて考慮した。

3. 変形性能照査結果

時刻歴応答解析結果の変形図を図6に示す。変形性能照査は杭頭の水平変位 δ が最大になる杭についてのみに行った。ピン結合時の杭体の応答は、降伏と全塑性の間となった。変形性能照査は、時刻歴応答解析結果から得られる応答塑性率 μ_p が許容塑性率 μ_{pa} 以下であることを確認することによって行った。応答塑性率 μ_p は、下式で算出した。

$$\mu_p = \frac{\text{杭頭の最大水平変位量 } D_{\max}}{\text{杭体の曲げモーメントが } M_y \text{ に最初に達した時刻の杭頭の水平変位量 } D_y} - 1$$

許容塑性率 μ_{pa} は「高圧ガス設備等耐震設計指針（レベル2耐震性能評価 解説編）」に準じ $\mu_{pa}=1.5$ とした。

解析から得られる杭頭の水平方向最大変位は図7に示すように、56mmとなった。変形性能照査結果は、 $\mu_p=56/44-1=0.27 < \mu_{pa}=1.5$ であり、レベル2地震動に対しても十分な変形性能を有することがわかった。

4. まとめ

基礎版と杭頭がピン結合構造であるPCタンクに対して非線形時刻歴応答解析を行い、レベル2地震動に対しても十分な変形性能を確保し得ることを検証することができた。今後は、解析の妥当性を検証し、地盤の非線形性を考慮した検討や検討条件による差などの更なる検討を行っていきたい。

参考文献 1) 日本ガス協会：LNG地上式貯槽指針

2) 高圧ガス保安協会：高圧ガス設備等耐震設計指針（レベル2耐震性能評価 解説編）

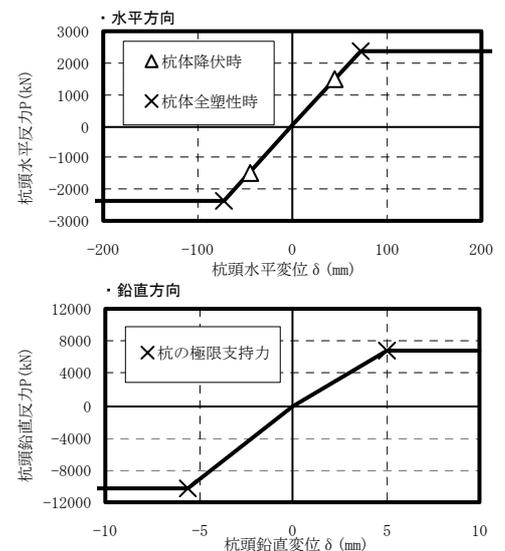


図4 杭バネの非線形特性

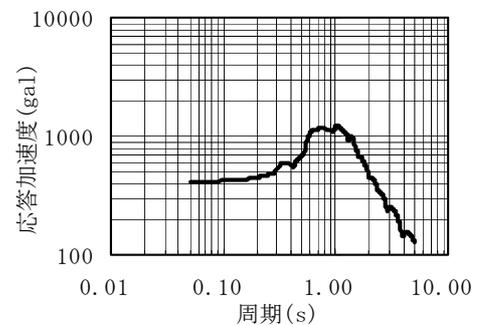


図5 地表面波の加速度応答スペクトル

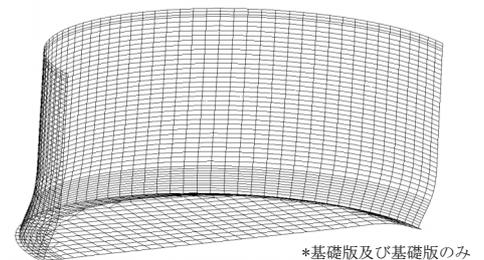


図6 変形図

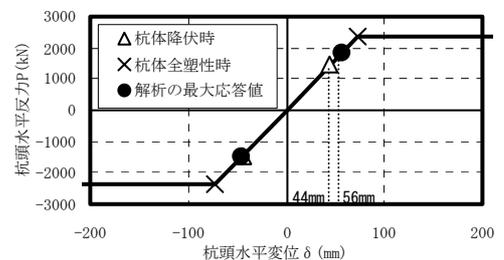


図7 杭頭の最大応答値