杭基礎を有する球形貯槽の3次元有効応力解析による耐震性検討

高圧ガス保安協会 フェロー会員 〇木全 宏之 小山田 賢治 大野 卓志 (株) 大崎総合研究所 正会員 藤田 豊

1. はじめに

高圧ガス設備である球形貯槽を対象に、上町断層帯で発生が予想される地震波を作成し、水平二方向入力による 3 次元有効応力解析を実施して上部構造及び基礎構造の耐震性を検討した.対象貯槽は、高圧ガス設備等耐震設計 基準に準拠して設計された球形貯槽(貯槽容量 1000m³)で、地表面及び球形貯槽の設計震度は、それぞれ 0.384 及 び 0.922 である.なお、本検討は「平成 30 年度経済産業省委託 石油・ガス供給等に係る保安対策調査等事業 新 たな高圧ガス設備等耐震設計基準・耐震性能評価方法の検討に向けた調査研究」として実施されたものである.

2. 解析モデルの概要

球形貯槽-杭基礎-地盤連成系の3次元 FEM モデルを図-1に示す.地盤はソリッド要素,球形貯槽及び基礎版は シェル要素,タイロッドブレースはロッド要素,支柱及び鋼管杭は梁要素で表現している.地盤は緩い地盤を想定 し,地表から砂,シルト,杭の支持層となる砂礫としており,地盤概要と解析定数を表-1に示す.砂及びシルトの せん断剛性及び減衰定数のひずみ依存性は,安田・山口(1985)の提案式をベースに設定した修正 R-0 モデルを採 用した.地下水位は GL-1.5m とし,それ以深の砂は液状化を生じる可能性が高いために有効応力モデルとし,液状 化強度-繰返し回数の関係は,道路橋示方書による R20 と龍岡らの方法(1980)により図-2のように設定した.ま た,球形貯槽は直径 12.41mの鋼製貯槽で,球殻を線形弾性とし,タイロッドブレースの軸力-軸方向変位関係にバ イリニアの非線形特性を付与した.鋼管杭(φ600mm)は梁要素のために,2方向の曲げモーメント(Mz, My)のそ れぞれについてバイリニアの非線形特性を付与しているが,2方向のカップリングは考慮していない.なお,連成 系モデルの側面には繰返し境界を,連成系モデルの底面には半無限境界を模擬したダッシュポットを設けた.

3. 入力地震動

入力地震動は経験的グリーン関数法により作成し,波形作成のための中小地震には,上町断層帯付近で発生した 2013年12月15日の地震(Mj3.8)を用いた.得られたNS方向及びEW方向の工学的基盤における入力地震動の加 速度波形を図-3に示す.入力地震動の最大加速度はNS方向で562cm/s²,EW方向で581cm/s²になり,高圧ガス設備 等耐震設計基準に基づくレベル2の工学的基盤の設計震度0.192に比べて大きくなっている.

4. 3次元有効応力解析結果

解析結果のうち、最大応答相対変位及び杭の最大曲げモーメントの深度分布を図-4 及び図-5 に示す.砂が液状 化を生じて、地表面の水平変位が約 90cm と大きくなっている.地盤は液状化に伴い長周期化して、球殻の最大応答 加速度は 300cm/s²以下となり、球形貯槽、タイロッドブレース及び支柱は、十分弾性範囲内に収まっている.一方、 杭の最大曲げモーメント (Mz 及び My) は降伏を越える範囲が杭全体に広がり、深さ方向にフラットとなっている. 杭頭部分の曲げモーメント (Mz 及び My) は降伏を越える範囲が杭全体に広がり、深さ方向にフラットとなっている. 杭頭部分の曲げモーメントー曲率関係 (Mz- ϕ z 関係及び My- ϕ y 関係)を図-6 に示す.同図より ϕ z 及び ϕ y とも 降伏曲率を上回り、杭が大きく塑性域に入っており杭に損傷を生じている.この曲率は ϕ z 及び ϕ y のそれぞれにつ いて示したもので、鋼管杭の杭頭円周上における最大曲率を示しているわけではない.梁要素を用いた場合の杭の 最大曲率 ϕ max を推定する方法として、① ϕ z, max または ϕ y, max の大きい方を ϕ max とする方法、②時刻歴の ϕ z 及び ϕ y により時刻歴の二乗和平方根を作成して最大値を ϕ max とする方法が考えられる.本報では②の方法により ϕ max を推定し、その時刻における杭軸力から M- ϕ 関係上のプロット点を評価したものを図-7 に示す.同図によれ ば、 ϕ max は ϕ z, max に対して 20%程度増加していた. 今後、②の方法の妥当性確認のために、杭をシェル要素でモ デル化し、梁要素で得られた杭頭の軸力及び二方向曲げモーメントを考慮した検討が必要になる.

キーワード 3次元 FEM モデル,有効応力解析,球形貯槽,杭の最大曲率

連絡先 〒105-8447 東京都港区虎ノ門 4-3-13 TEL 03-3436-6103



図-1 球形貯槽-杭-地盤連成系モデルの概要



GL(m)	地層名	緩い地盤		
0.0		N 値	Vs(m/s)	ν
-1.5	砂(1)	7	153	0.40
-10.0	砂(2)	7	153	0.48
-15.0	シルト	2	126	0.49
-25.0	砂礫	45	285	0.45
工学的基盤		50	300	0.45

注:せん断波速度 Vs は道路橋示方書の式による. 地下水位は GL-1.5m とする.









図-4 球形貯槽の最大応答相対変位

(kN·m) +8275e+002 +7.447e+002 +6.620e+002 +5.792e+002 +4.965e+002 +4.965e+002 +4.137e+002 +3.310e+002 +2.482e+002 +1.655e+002 +8.275e+001 +0.000e+000

図-5 杭の最大曲げモーメントの深度分布



図-6 杭頭における Mz-φ, My-φ関係



図-7 杭頭における M- φ 関係 (φ の二乗和平方根)