杭頭半剛接合構法を用いたPC LNG貯槽の地震時挙動

大成建設株式会社　正会員　○藤田　智明
大成建設株式会社　正会員　　高木　宏彰
大成建設株式会社　正会員　　菊地　延斗

1. 緒言

PC LNG貯槽において杭と基礎版の接合方法は，剛接合としているのが一般的である．また，PC LNG貯槽の耐震設計は修正震度法によって行われており，必要に応じて動的解析によるバックチェックがなされている．LNG地上式貯槽指針[1)](以下，LNG指針)において，構造物に作用する設計修正震度K_{MH}は，地表面における水平震度K_Hを，水平方向の固有周期を考慮した応答倍率α_5で割増しして求められる．α_5は，構造物の固有周期と地盤種別により基準応答倍率を算定し，その基準応答倍率に減衰定数に応じて求まる補正係数を乗じることで算出できる．

しかし，LNG指針の【解説】では，応答倍率は，「杭頭完全固定の杭基礎の場合の応答倍率であり，杭頭完全固定以外の条件で基礎を設置する場合には，適切に評価すること」とされている．したがって，杭頭半剛接合を用いる場合には，何らかの評価を行う必要があることになる．

これを踏まえ，杭頭に半剛接合を採用した場合の地震時挙動について，杭頭固定とした場合と比較してどのような相違があるのかを躯体－内容液－杭－地盤の連成モデルを用いた時刻歴応答解析を行った．

2. 対象構造物

本検討では，18万klのPCLNG貯槽(図2.1参照)を対象とする．杭頭部と基礎版の接合方法は，剛接合とした場合(Case1)と半剛接合とした場合(Case2)の2ケースを行い，半剛接合方法は，F.T. Pile構法((財)日本建築センター「杭頭接合構法評定」:BCJ評定-FD007101)を用いることとする．杭は，上杭がSC杭(杭長l=7.0m)，中・下杭がPHC杭(l=45.0m)とする．

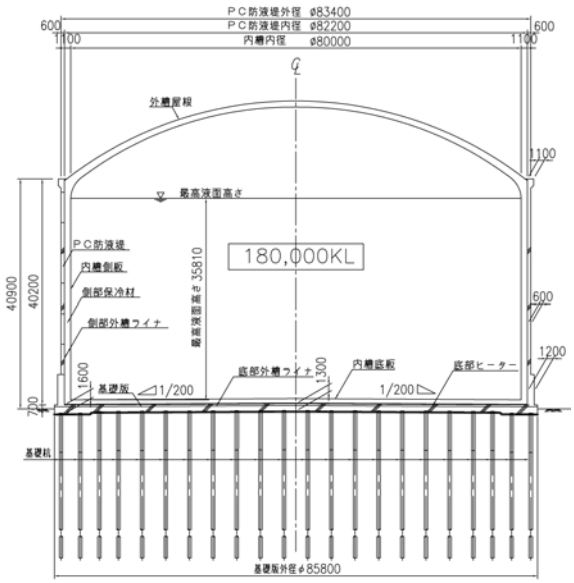

図2.1 検討に用いるPCLNG貯槽

3. 時刻歴応答解析モデル

時刻歴応答解析には汎用ソフトT-DAPⅢを用い，解析モデルは，対称性を考慮して180°モデルとした(図3.1参照)．

3.1 躯体および内溶液

PC防液堤，基礎版，内槽(側板，底版，屋根)および外槽屋根は，3次元シェル要素を用いてモデル化し，内容液のLNGは，動液圧を考慮できる流体要素を用いてモデル化した．杭はビーム要素とし，SC杭は軸力変動M-φモデル，PHC杭は弾性体とした．

3.2 地盤

地盤は3次元ソリッド要素を用い，側方境界には3次元側方境界要素を，下方地盤は杭下端までのモデル化とし，底面粘性要素を用いた．地盤は弾性体とし，各土層には一次元地盤応答解析より得られた等価剛性を用いた．等価減衰は各モードのモード減衰をRayleigh減衰により考慮した．

3.3 入力地震波

時刻歴応答解析に先立ち，1次元重複反射理論に基づく解析プ

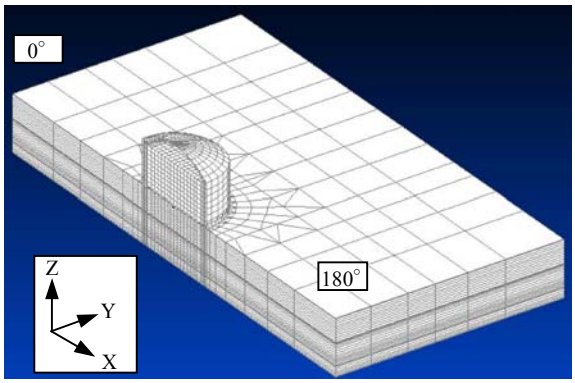

図3.1 解析モデル

キーワード：杭頭半剛接合，PC LNG貯槽，時刻歴応答解析，修正震度法
連絡先：大成建設株式会社 土木設計部　〒163-0606　東京都新宿区西新宿1-25-1　TEL03-5381-5418

ログラムSHAKEによる一次元地盤応答解析を行った．一次元地盤応答解析に用いる地震波は，LNG指針に示される波とし，同じくLNG指針に示される工学的開放基盤面における加速度応答スペクトルに適合するようフィッティングを行ったものを使用した．この一次元地盤応答解析より得られた杭下端位置での地震波(E波：図3.2参照)を2E波として，時刻歴応答解析に用いた．

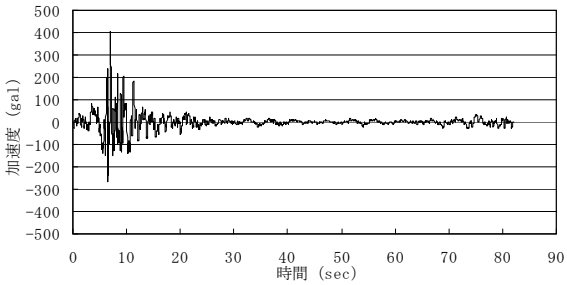

図 3.2 入力地震波(加速度)

3.4 杭頭部と基礎版の接合部のモデル化

Case2については，杭頭部と基礎版の接合部に軸力変動非線形弾性モデルを用い，F.T.Pile構法を再現した．Case2の杭頭部の曲げモーメントMと回転角θの関係は，載荷実験結果[2)]より，双曲線関数となり，図3.3のようにモデル化した．

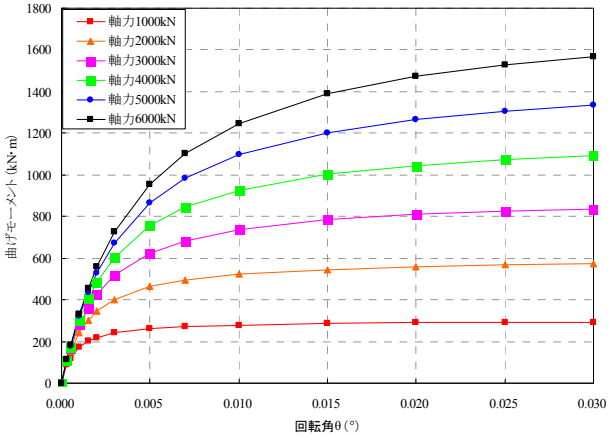

図3.3 杭頭部の回転剛性のモデル化（F.T.Pile）

4. 解析結果

4.1 PC防液堤および内槽の応答加速度

PC防液堤および内槽のX方向最大応答加速度を図4.1に示す．これより，杭頭の接合条件によらず，PC防液堤および内槽に発生する最大加速度はほぼ同等であることが分かる．また，上端，下端および最大加速度が発生する位置での応答加速度波形を抽出したところ，接合条件による波形の差もないことを確認している．

4.2 応答倍率

表4.1に内槽の応答倍率を示す．それぞれの震度は，時刻歴応答解析より得られた最大応答加速度を重力加速度で除したものである．Case2の応答倍率は，Case1の応答倍率とほぼ同じ値であり，LNG指針の修正震度法の応答倍率α_5よりも小さいことが確認できる．この理由としては，貯槽は高次モードで振動しているのに対し，LNG指針においては，一次モードでの振動を仮定していることが考えられる．以上より，Case2であっても，応答倍率はα_5より小さく，α_5を用いても，十分に安全側であると考えられる．なお，接合条件によらず貯槽の応答に差が無いのは，杭頭の回転が低いレベルに抑えられているためである．

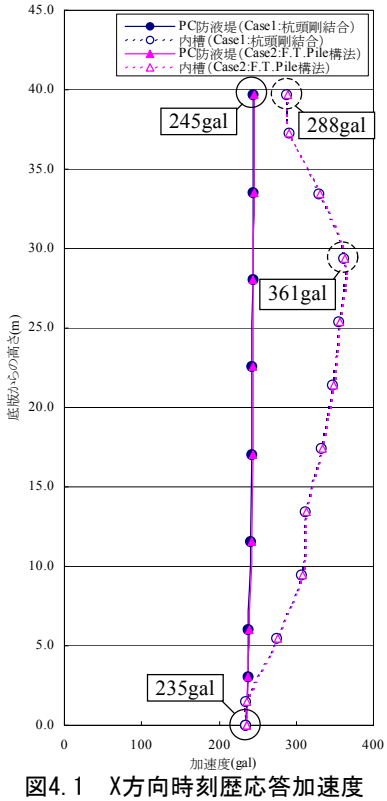

図4.1 X方向時刻歴応答加速度

5. 結論

本検討では，18万klのPCLNG貯槽を対象とし，杭頭を剛接合と半剛接合とした場合の地震時挙動について比較検討を行った．その結果，杭頭接合部方法によって貯槽の応答加速度に顕著な差は見受けられず，LNG地上式貯槽指針による設計修正震度よりも小さな値が得られた．このことから，F.T.Pile構法による杭頭半剛接合構法を採用した場合でも，LNG地上式貯槽指針にしたがった耐震設計を行えば，十分安全側の設計とすることができることを確認した．

参考文献 1)LNG地上式貯槽指針[JGA指-108-02],2002年,(社)日本ガス協会 2)大成式杭頭半剛接合構法(F.T.Pile構法)既製コンクリート杭 設計・施工指針,2005年,大成建設株式会社

表4.1 内槽の応答倍率

耐震解析手法	①修正震度法	Case1		Case2	
		②時刻歴応答解析法	②／①	③時刻歴応答解析法	③／①
地表面震度(自由地盤)K_H	0.42	0.28※1	67%	0.28※1	67%
地表面震度(タンク直下) K_{HT}	0.36	0.22	61%	0.21	58%
減衰定数による補正係数 β K_{HT}/K_H	0.85	0.79	93%	0.75	88%
設計修正水平震度 K_{MH}	0.79	0.36	46%	0.36	46%
応答倍率 α_5 K_{MH}/K_H	1.88	1.29	69%	1.29	69%

※1 側方地盤端部の地表面最大震度