地盤~タンク連成3次元 RC 非線形動的解析を用いた LNG 地下タンクの耐震設計 その(2) ~レベル2地震止水性能評価~

東京電力フュエル&パワー株式会社 正会員 o山邊 洋之¹⁾ 正会員 高橋 智彦¹⁾ 大成建設株式会社 正会員 山本 平²⁾ 正会員 山梨 達哉²⁾

1.はじめに

LNG 地下タンクの L2地震に対する止水性能は, (社)日本ガス協会「LNG 地下式貯槽指針(H24.4)」に 表1のとおり規定されている. 富津火力発電所に建設 中の LNG 地下タンクにおいて,地盤-タンク連成3次元 RC 非線形動的解析を適用した結果¹⁾,躯体に発生する 引張ひずみが3,400µ 程度以下となり,限界値を満足し ていることを確認している.

一方,当該タンクは連壁-側壁間に配置された導水材 が凍結しないように側壁外表面で0℃以上を保持²⁾して おり,また底版に作用する温度応力を低減する観点か ら底部ヒーターをより上側に配置³⁾している.このた め,従来のLNG地下タンクより躯体温度が比較的高く 凍結領域が狭くなっており,当該タンクにおいて躯体 の止水性能を引張ひずみで間接的に評価することは妥 当ではない.そこで止水性能を残留応力もしくは残留 ひび割れ幅から直接評価することとした.

2.止水性能の評価手法

当該タンクは通常時,底版下面に水位を維持するこ ととしている.したがって止水性の評価は,L2地震後 に電源喪失等により揚水ポンプが停止・自然地下水位 まで復水したケースとし,「残留圧縮領域の確保」も しくは「凍結止水の可否」により行う.図1にフロー を,以下に手順を詳述する.

(1) 残留圧縮領域の確保: 躯体残留主応力分布から, 部材内に残留する主応力が0以下(圧縮側)となる範 囲を算定する. 残留圧縮領域が存在する箇所は,従来 と同様に止水性が確保されていると評価する.

(2) **凍結止水の可否**:地下水位以深で残留圧縮領域が 確保されない範囲は凍結止水の可否を検討する.

1 最大残留ひずみ ε_{max} と曲げひび割れ間隔 Δl よりコ ンクリートの残留ひび割れ幅 ω_c (= $\varepsilon_{max} \times \Delta l$)を 算定する.本検討では,安全側に躯体内・外表面の 残留ひび割れ幅のうち大きい方を貫通ひび割れ幅 ε_{max} とし、寺山らの提案式⁴⁾を用いてひび割れ面で の浸透水の流速 V および躯体通過時間 T (=t/V, t: 部材厚さ)を求める.

- 2 図2に示すモデルを用いて、非定常熱伝導解析を行う.ここでは、ひび割れ部の浸透水をモデル化するための水要素とコンクリート要素が接点共有しないよう、ひび割れ直交方向のみに熱を伝えるインターフェース要素を配した.また、熱物性は常見ら⁵⁾を参考に設定した.
- 3 *T* 秒後の温度分布より凍結止水の可否を判定する こととし、水要素温度が判定位置で0℃以下の場合、 凍結止水可能と判断する.今回は浸透水の移動をモ デル化していないため、判定位置は躯体内面境界で はなく、躯体の中間位置とする.

表1 L2地震時の止水性能に対する規定



キーワード LNG 地下タンク,地盤-タンク連成3次元 RC 非線形動的解析,L2止水性能照査
1)〒239-0011 千葉県富津市新富25番地 東京電力フュエル&パワー㈱ 富津火力発電所 LNG 土木グループ TEL0439-77-2381
2)〒163-0606 東京都新宿区西新宿1-25-1 大成建設㈱ 土木設計部 特殊構造設計室 TEL03-5381-5293



図2 非定常熱伝導解析モデル図(側壁部) これは、実際の浸透水が躯体内を移動する*T*秒間に受 ける冷熱量とモデル上で静止した水要素が受ける冷熱 量とが等しいとした位置である.

3.残留圧縮領域の確保による止水性判定

図3に躯体残留主応力分布を示す. 底版は満液時・ 空液時とも復水に伴う揚圧力の影響により,中心から R=26.5m までの範囲に残留圧縮領域が存在しており, この部分は止水性が確保されていると評価できる. 側 壁は,満液時・空液時に円周方向全周に渡り圧縮領域 は存在しない. このため,底版の R=26.5m より外側お よび側壁は凍結止水による止水性判定を行う.

4.凍結止水の可否による止水性判定

浸透水の躯体通過時間 Tと躯体の貫通ひび割れ幅 ϵ_{max} の算定結果を図4に示す.地下水位以深の最大貫 通ひび割れ幅は側壁で0.54mm,底版で0.51mm となる. また,非定常熱伝導解析結果の一例として,側壁下端 部 (ϵ_{max} =0.54mm, t=5.5秒)における結果を図5に示 す.判定位置の水要素は0℃以下となっており,凍結 止水が可能と判定できる.

上記方法でひび割れ幅を順次変更し側壁および底版 の凍結止水が可能な限界ひび割れ幅を算出した.その 結果,限界値は側壁および底版ともに0.60mmとなり, 最大貫通ひび割れ幅を上回ることから側壁・底版とも に凍結止水が可能と判定した.

5.まとめ

本稿では、LNG 地下タンクに地盤-タンク連成3次元 RC 非線形動的解析を導入し、残留主応力もしくは残留 ひび割れ幅から直接的に止水性を評価し、L2地震後に 揚圧力を作用させた場合でも当該タンクの止水性能が 満足することを確認した. なお、今回は安全側の評価 として、躯体内・外表面の残留ひび割れ幅のうち大き い方を貫通ひび割れ幅とした. 今後、ひび割れ内の浸 透水移動を適切に模擬し、ひび割れ内の流速と躯体内 面到達時間を精度よく算定できれば、凍結止水評価方 法の精度向上が見込まれる.



図 3 躯体主応力分布図(左: 満液時, 右: 空液時)





t=5.5秒

図5 非定常熱伝導解析結果(側壁下端)

参考文献

1) 高橋智彦,山邊洋之,山梨達哉,山本平:地盤-タンク連成3次元 RC非線形動的解析を用いたLNG地下タンクの耐震設計その(1)-レベ ル2地震耐荷性能評価-,土木学会第71回年次学術講演会(投稿中) 2) 高坂理紗,高橋智彦,鈴木良亮,三浦邦秋:連続地中壁内に側部 ヒーターを有するLNG地下タンクの設計と施工,土木学会第71回年 次学術講演会(投稿中)

3)高橋智彦,山邊洋之,浜野旭,山本平:剛結形式LNG地下タンクの底版の設計,土木学会第71回年次学術講演会(投稿中)

4) 寺山徹, 大塚敬三, 大友健: プレストレスによるひび割れ幅の低 減効果, 土木学会年次学術講演会概要集, vol.43,pp.296-297,1988.10 5)中野正文, 川村佳則, 常見昌朗, 山本平:地下タンクの耐震性能 照査-凍結止水判定方法に対する一提案-, 土木学会年次学術講演会 概要集, vol.56,pp.46-47,2001.10