

マルチスケール統合解析システムによる LNG 地下タンクのライフスパンシミュレーション

東京電力 HD(株) 正会員 高橋 智彦 東京電力 FP(株) 正会員 高坂 理紗
 (株)コムスエンジニアリング 正会員 土屋 智史 正会員 ○米津 薫
 東京大学 フェロー会員 石田 哲也

1. はじめに

LNG 地下タンクの躯体設計においては、建設時および運用時の温度応力や温度管理、ひび割れに対する照査と、地震時の使用性・安全性の照査は、個別に実施されている^{1),2)}。本検討では、将来的な試みとして、建設時からレベル 2 地震作用時を含む運用開始後までの長期にわたる一連の挙動を 3 次元マルチスケール解析により連成して評価し、より実際に近い状況を解析的に再現することとした。

2. 解析条件

材料と構造応答を連成したマルチスケール解析「*DuCOM-COM3*」³⁾を適用する。解析モデルは対称性を考慮した 1/2 モデルとし、側壁、底版(以下、躯体)、連続地中壁、地盤は、全てソリッド要素を用いて配置鉄筋やアスペクト比に留意してモデル化し、鋼製屋根は弾性シェル要素によりモデル化する(図 1)。地盤と構造物との境界には接合要素を定義して、局所的な変形を考慮する。図 2 に示すように、建設から運用開始までの施工工程を考慮してモデル化を行う。本検討の独自性は、コンクリートの物性は配合と環境・境界条件に応じて、時々刻々部位ごとに評価され、ひび割れが生じた場合には、その情報が材料および構造挙動に引き継がれる点にある。また、収縮・クリープも自動計算される。なお、温度と相対湿度の環境条件は対象構造物周辺の気象データの月平均値とした。

3. 長期挙動解析

建設時から 100 年後までの経時変化を追跡する長期挙動解析を実施した。底版打設過程における温度履歴では、解析は実測値を概ね再現できている(図 3)。100 年後の温度、相対湿度、圧縮強度分布を図 4 に示す。LNG 封入を経て建設後約 10 年で定常状態となり、以降 100 年まで大きな変動は見られない。図 5 には、LNG 封入以降の側壁の断面力分布の推移と、構造解析単体(施工工程考慮なし、常時荷重一括載荷、コンクリート剛性 1/2)¹⁾の常時状態における結果を示す。マルチスケール解析では、温度や含水状態の変化に伴う膨張・収縮により、時間経過につれて断面力が変化し、約 5 年で構造解析単体の解析結果に近づく結果が得られた。

4. 地震応答解析

一例として、建設時から 10 年後にレベル 2 地震を入力する応答解析を実施した。比較のため、単体の構造解析も実施した(硬化コンクリートの物性は設計値)。側壁の層間変形角時刻歴を図 6 に示す。構造解析単体とほぼ同様の応答となっており、層間水平変形角の最大値は 0.26%と小さく、残留値も過小であることから、使用性・安全性の要求性能を満足し、長期時間依存変形を考慮しても耐荷機構に及ぼす影響は小さいことが分かる。

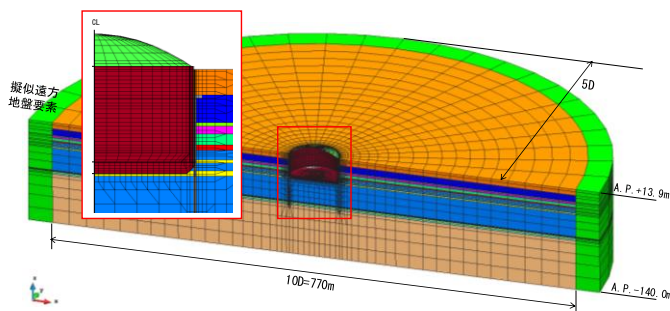


図 1 解析モデル

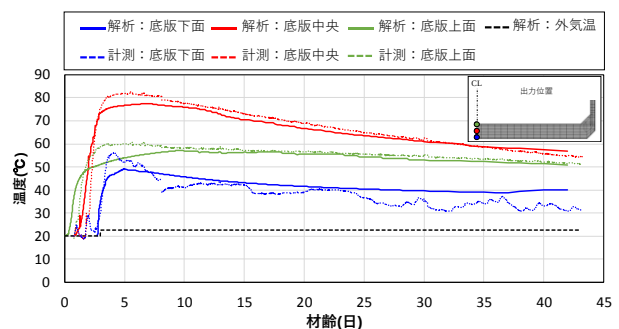


図 3 底版温度履歴

キーワード LNG 地下タンク, 材料-構造連成マルチスケール解析, 経時変化, 地震応答解析

連絡先 113-0023 東京都文京区向丘 1-1-17 株式会社コムスエンジニアリング TEL 03-3868-0580

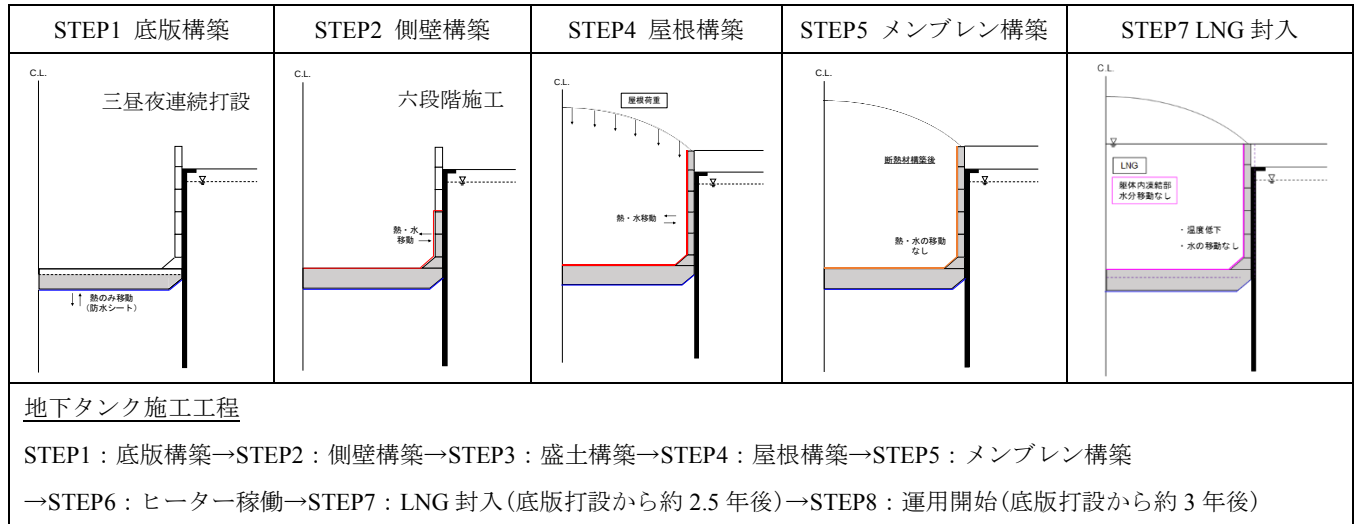


図 2 施工工程に基づく解析ステップ概要

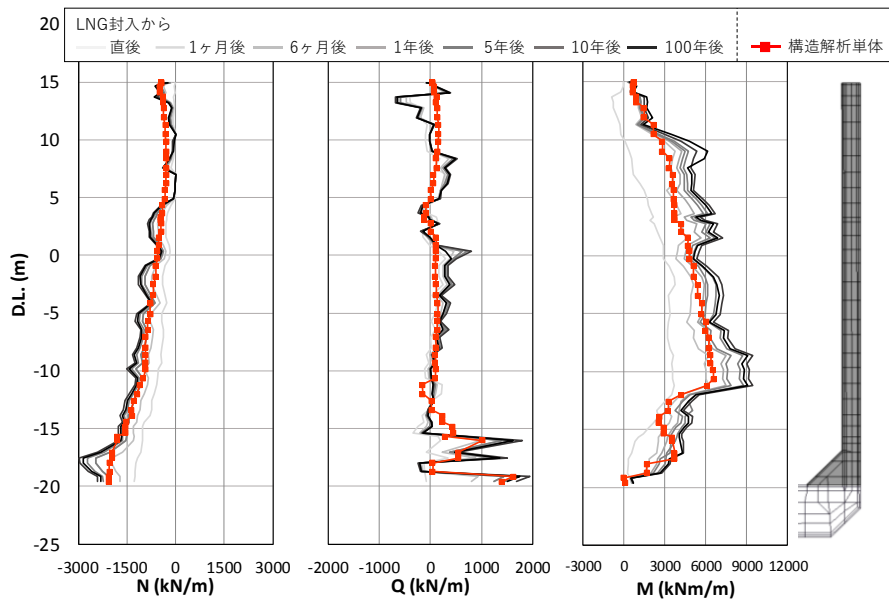


図 5 側壁に作用する断面力の推移

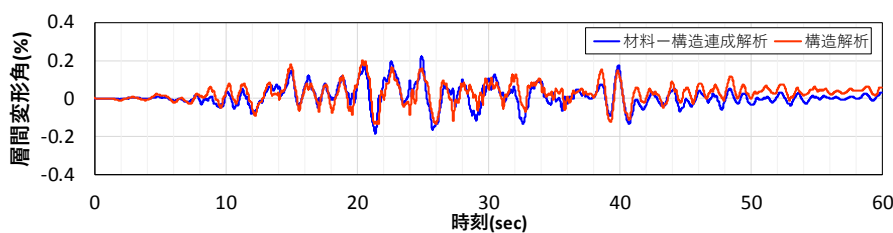


図 6 地震応答解析の側壁層間変形角時刻歴

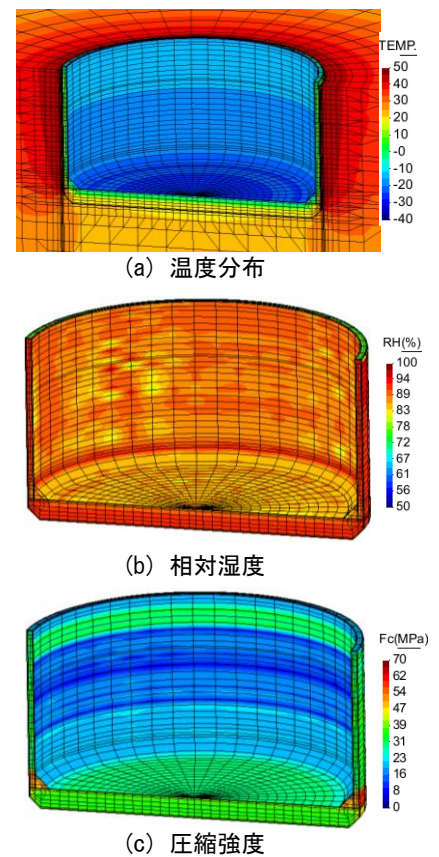


図 4 材齢 100 年時の各種コンター

5. まとめ

周辺地盤を含む大規模な構造物に対して、建設から運用開始後までの長期にわたる一連の挙動(地震入力を含む)を途中で発散することなく追跡することができた。現行の手法に問題点を見出すものではないが、将来的には設計・照査法へのフィードバックを図るとともに、維持管理に解析技術を活用する見込みが得られたと考えている。本稿は解析結果を速報的にまとめたものであり、今後、詳細な考察を行い、合理化に向けた取り組みを継続していく予定である。

参考文献

- 1) 土木学会：LNG 地下タンク躯体の構造性能照査指針，コンクリートライブラリー98，1999.12
- 2) 山本平：講座 非線形有限要素解析入門②土木における非線形有限要素解析の活用，コンクリート工学，Vol54，No.7 2016.
- 3) Maekawa, K. Ishida, T. and Kishi, T. : Multi-Scale Modeling of Structural, Taylor and Francis, 2008.