

隣接するLNG地下式貯槽の3次元有限要素法固有値解析

東京ガス 正員 小山和夫 細谷 健
 鹿島建設 正員 砂坂善雄 塩崎信久 藤村和也

1. はじめに

東京ガス袖ヶ浦工場では、1983年よりLNG地下式貯槽と周辺地盤の地震観測が行われている。これまでに80以上の地震が観測され、得られた加速度・速度・変位・鉄筋歪・動土圧のデータに基づいて多くの報告がなされている¹⁾。前報告では、隣接する地下式貯槽の変形パターンは、ほとんどの時刻において逆位相であり、例えば、一方の貯槽が横長の変形パターンのとき、他方の貯槽は縦長の変形パターンであることが示された²⁾。本報告では、隣接する地下式貯槽の3次元有限要素法による固有値解析を実施し、隣接する地下式貯槽の地震時の変形挙動について検討する。

2. 隣接するLNG地下式貯槽の概要

解析対象とする隣接するLNG地下式貯槽の構造概要及び周辺地盤の土質柱状図を図-1、図-2に示す。両貯槽は共に、内径64m、最大液位40.5m、容量13万klである。

3. 3次元有限要素法固有値解析モデル

図-1に示す様に、隣接する地下式貯槽及び周辺地盤は厳密には対称構造ではないが、簡単のために1/4モデルを作成し、適当な対称条件を付与することとする。作成した3次元有限要素モデル(1/4モデル、図-3参照)の節点数2,753、ソリッド要素数572(：地盤及び貯槽底板)、シェル要素数22(：貯槽側壁)、液要素数32(：LNG)である。また、全ての要素は中点付きの20節点要素(シェルは8節点要素)であり、メッシュの大きさは5Hzの振動数の地震波が透過可能な大きさである。加振方向は、隣接2貯槽方向及び隣接2貯槽直角方向の2種類とする。

4. 固有値解析結果とそれに基づく隣接する地下式貯槽の地震時挙動

3次元有限要素法に基づく固有値解析結果より、刺激係数の大きなモードを3つ選び、以下に示し考察する。振動数の小さい方から1次、2次、3次とすると、固有振動数は隣接2貯槽方向加振時には1次：0.9527Hz、2次：2.304Hz、3次：2.330Hz、隣接2貯槽直角方向加振時には、1次：0.9529Hz、2次：2.312Hz、3次：2.327Hzとなった。これらの内1次モードは刺激係数が最も大きく、その固有振動数は地盤の固有振動数にほぼ等しい。1/4モデルのモードから対称条件を用いて1/1モデルのモードを作成し、図-4に示す。また、2つの地下式貯槽及び周辺地盤が各次の固有モードで自由振動している様子を表すアニメーションを作成した。これらの結果より以下の様なことが明らかになった。

(1)隣接2貯槽方向加振時：1次モード(図-4(a))では、2つの地下式貯槽は円形のまま加振方向に地盤と同様にゆれており、周辺地盤は全て加振方向に地盤の1次モードでほぼ一様に変位している。2次モード

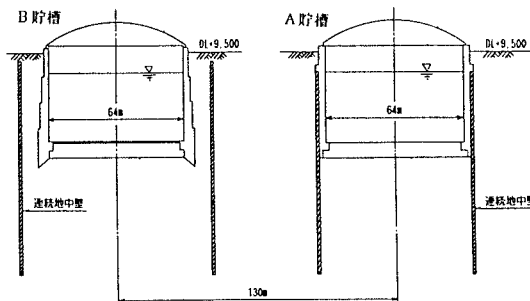


図-1 構造概要

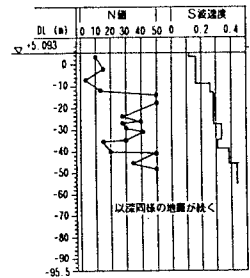


図-2 土質柱状図

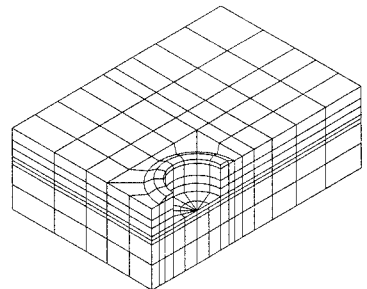


図-3 解析モデル

（図-4(b)）では、2つの地下式貯槽は円形ではなく、加振方向にスウェイしている。周辺地盤の変形は一樣でなく、特に貯槽近傍の地盤の変形が大きい。3次モード（図-4(c)）では、2つの地下式貯槽は円形ではなく、加振方向にロッキングしている。周辺地盤の変形は一樣でなく、貯槽の振動に比べて小さい。

（2）隣接2貯槽直角方向加振時：1次モードでは隣接2貯槽方向加振時の1次モードと同様に、2つの地下式貯槽は円形のまま加振方向に変位しており、周辺地盤は全て加振方向に地盤の1次モードでほぼ一樣に変位している。2次及び3次モードでは、2つの地下式貯槽は楕円に近い形状をしており、楕円の主軸は加振方向に対して傾いている（図-4(d)）。

5. 観測結果との比較

当該サイトの地震観測で地表面最大加速度78.4Galが観測された関東南部地震（1983年2月27日、M6.0、△56km）における貯槽頂部の相対する位置での相対変位の時刻歴を求めA貯槽とB貯槽について重ね書きしたものを図-5に示す。これより、隣接する2貯槽の変形パターンはほぼ逆位相であり、その卓越振動数は2Hz付近に存在する。これは2次、3次の固有振動数に対応していると考えられる。また、これまでにを行った関東南部地震時の観測データの詳細解析によれば、貯槽の震動としてはロッキング運動が顕著であり、これは固有値解析結果のうち刺激係数の大きな3次モードに対応していると考えられる（図-4(c)）。また、貯槽の変形パターンとしては、隣接2貯槽方向に対して傾いた楕円形も観測されており、これは固有値解析結果のうち隣接2貯槽直角方向加振時の刺激係数の大きな2次モードに対応していると考えられる（図-4(d)）。

6. まとめ

3次元有限要素法に基づいて、隣接する地下式貯槽の固有値解析を実施し、地震観測結果との比較・検討を行った。その結果、固有値解析による固有振動数は、地震観測結果から推定される値とほぼ等しく、固有値解析によるモード形は地震観測結果に表れるモード形とよく対応している。

<参考文献>1)K. Koyama, O. Watanabe, N. Kusano:Seismic behavior of in-ground LNG storage tanks during semi-long period ground motion, Proc. of 9WCEE, pp.VI679-690, 1988.2)小山他：LNG地下式貯槽の地震時変形挙動について、土木学会第49回年次学術講演会講演概要集第1部、pp.1658-1659、1994.9

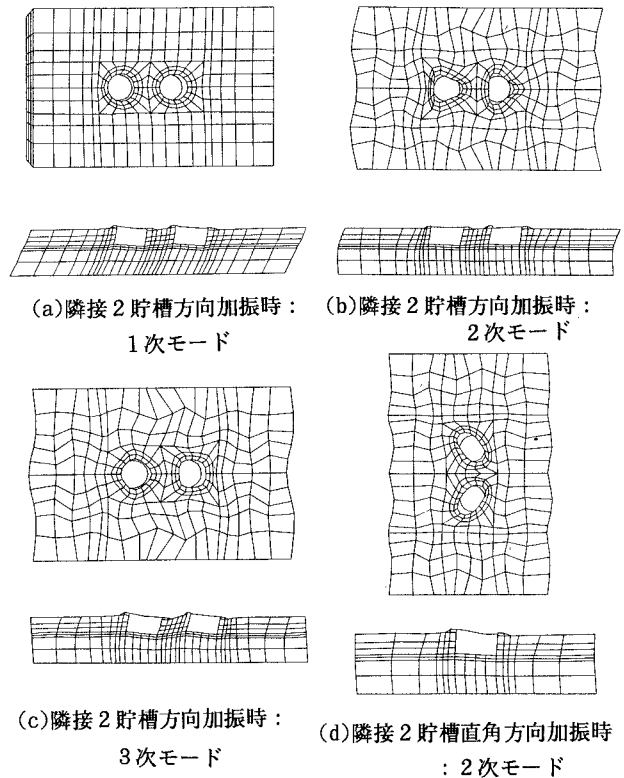


図-4 固有値解析結果

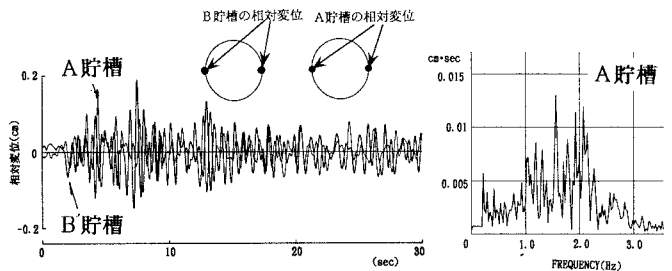


図-5 貯槽頂部の相対する位置での相対変位の時刻歴とフーリエスペクトル