

大型地下タンクの動的解析

(株)奥村組 技術研究所 吉川正昭

1. はじめに

LNG地下タンクは比較的新しい構造物であり、震害経験をあまり持たないため、耐震設計を確立するための研究が多くなされている。地震観測による研究報告は、応答加速度 50cm/s^2 程度のものが多く求められ、強震時の地震観測結果はあまり得られていない。しかし、弱震時の地下タンクの地震観測結果より、円筒タンク特有の *ovalling* モードが観測され¹⁾、円筒タンクの円環の剛性が比較的小さいことがわかる。そこで、「軟化ばね特性」を表現できる模型地盤材料と模型内容液として水を用いて振動実験を実施し、強震時に、地下タンク—内容液の動的挙動が地盤の軟化現象によって、どのように変化するかを求めた²⁾。1層地盤とタンク底版下が支持層に根入れされている2層地盤について、模型振動実験を行い、円筒タンク特有の *ovalling* モードを求めやすくした。1層地盤の振動特性と比較検討した結果、2層地盤中のタンクは、底版下が支持層に根入れ、1層地盤に比べて堅固であるため、1層地盤中のタンクに生じる *rocking* 振動が生じないかわりに、*ovalling* 振動を生じることなど、強震時での動的挙動を指摘した。今回は、実物地下タンクに対して、1、2層地盤を想定し、振動モードと振動数応答関数とを、地盤の非線形性を等価線形で考慮した3次元FEM解析で求め、解析結果と模型実験結果とを比較し、解析モデルの妥当性について検討したので報告する。

2. 解析方法

鉄筋コンクリート構造で容量 $6 \times 10^3 \text{ m}^3$ 、液深 23m、円筒側壁外径 60m、高さ 30m、厚さ 2.5m、円形重力底版の厚さ 5m の大型円筒LNG地下タンクを、対象構造物として想定した。3次元FEMによる解析モデルを図1に示す。強震時（入力加速度振幅 220cm/s^2 程度）の等価剛性と減衰定数を有する地盤と地下タンクの全体系に、固有値解析と複素応答解析を行い、連成振動モードと振動数応答関数を求めた。そのため、等価線形解析により、予め、周辺地盤の等価剛性、減衰定数を求めている。内容液は微小振幅理論により、比粘性、比圧縮の流体要素でモデル化し、複素固有値解析を行った結果 *sloshing* 周期は 0.8 秒となる。一方、強震時に実験結果²⁾から、地盤の軟化現象により、タンク—地盤と内容液の *sloshing* とは、振動数が近接する。しかし、本研究の入力加速度の強度以内で、両者は連成振動を生じないことを確認した。そのため、液はタンク側壁に付加質量として加えた。

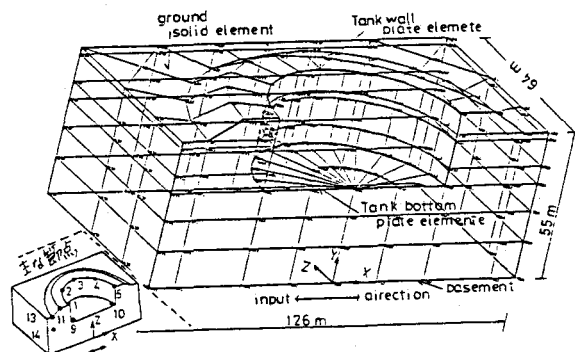


図-1 3次元FEMによる解析モデル

3. 解析結果と考察

1, 2層地盤-タンク連成系各部の水平方向振動数応答曲線を図2に示す. 応答特性に支配的な低次の振動モードを図3, 4に示す. 上下に示したモードは連成系の全景とタンク頂部断面のモードである.

1層地盤では, タンクは単峰型の振動数応答関数を示す. 地盤地表部より, タンク部の方が大きな応答値を示し, タンクを地盤に埋設した効果は現れない. 地盤1次振動が優勢となる0.96Hz付近では, タンク部は増幅せず, 1.65Hz付近の rocking (多少 oavallingも含む) 時にタンク部は増幅する. 近傍と遠隔地盤はほぼ同じ振動数応答特性を示し, タンクによる近傍地盤に対する補剛効果つまり, タンクを地中に埋設した効果は現れない.

2層地盤では, タンクは連峰型の振動数応答関数を示す. 地盤地表部の方がタンク部より, 大きな応答値を示し, タンクを地盤に埋設した効果が現れる. 地盤1次振動が優勢となる1.30Hz付近で, タンク部は第1ピークを示す. 1.70Hz付近のタンクが oavalling 振動を呈する時に第2ピークを示す. 近傍と遠隔地盤において, 遠隔地盤の方が大きな応答値を示し, タンクによる地盤への補剛効果が現れる. これは, タンク底板下の支持地盤が軟化現象を示さないためである. 以上, 述べた解析結果は, 強震時の模型実験結果²⁾から導かれた振幅と振動数特性とにほぼ類似するため, この解析手法により, 軟化した地盤と地下タンク全体型の振動性状を近似的に表示できることを明らかにした.

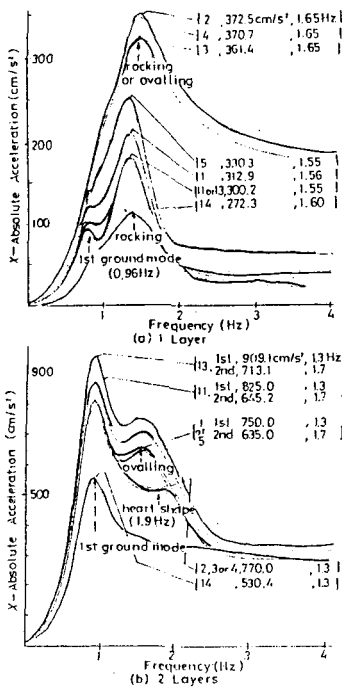


図-2 振動数応答曲線

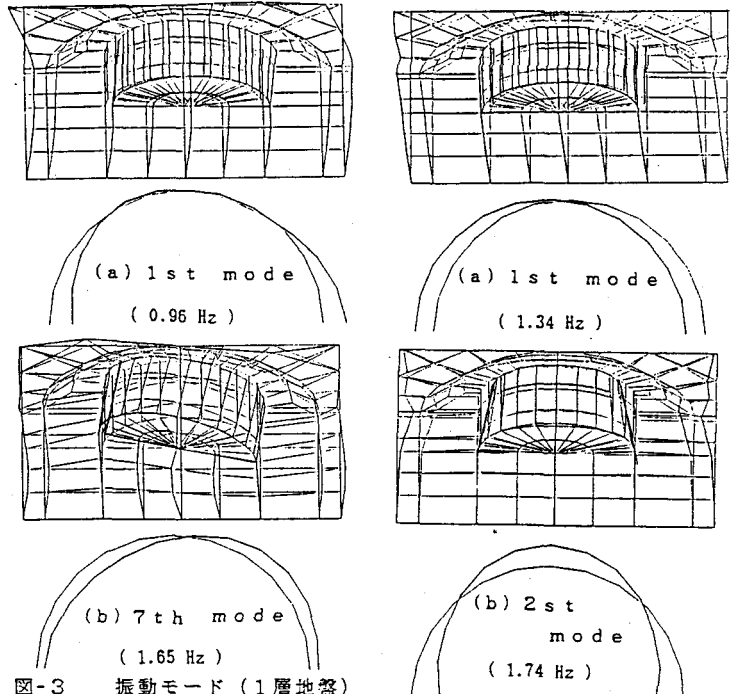


図-3 振動モード (1層地盤)
参考文献

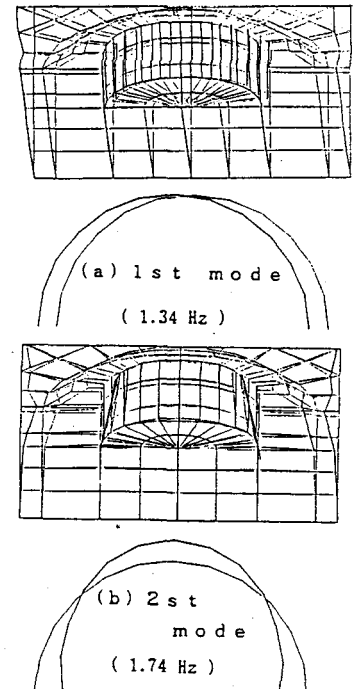


図-4 振動モード (2層地盤)

- 1) 浜田政則「大型地下タンクの地震時挙動の観測と解析」土木学会論文報告集, 第273回
- 2) 吉川, 家村「円筒地下タンクの非線形動的相互作用に関する実験的研究」土木学会論文報告集, 第350/I-2, 1984, 10, pp.243~252