

清水建設研究所 正会員 ○萩原運弘
 清水建設研究所 正会員 小林 浩
 清水建設研究所 正会員 白石雅美

1. はじめに

近年、陸上に建設される石油タンクに関しては、地震時における構造物と地盤との相互作用を考慮した研究¹⁾が数多く行われているが、海洋に設置される石油タンクを対象にした研究はほとんど見られない。海洋石油タンク群が地震動を受ける場合、地盤-構造物-周辺水の相互作用によりタンク自体は一層複雑な挙動をするものと思われる。そこで、海底地盤上に設置された石油タンク群が地震時にどのような挙動を示すかを調べるために、振動台上に地盤-石油タンク群モデルを作成し、一連の基礎的な実験を試みた。今回の実験では海水を無視したが、その影響については計算により若干の考察を加えた。

2. 実験装置と実験方法

実験は写真-1に示すように大型振動台(4m×5m)上に鋼製の架台を取り付け、その上に弾性模型地盤を作成し、幾何学的縮尺500分の1のタンク模型を設置して行った。地盤模型材料としては、材料の弾性領域、物性の経時変化および作成、加工の容易性等を考慮して高分子系ケミカルグラウトを採用した。またタンクは硬質塩化ビニールで作成し、速乾セメントで全体重量の調整を行った。実験としては、まず地盤のみの場合、続いてタンク1基、3基、9基を順次設置し、各ケースに対して正弦波で振動台の加速度を一定に保ち振動数を徐々に変化させる形式で実施した。計測の対象は地盤内加速度、

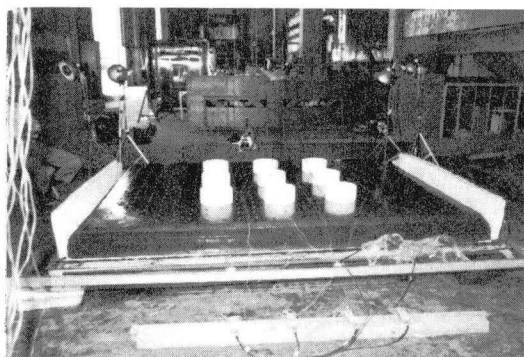


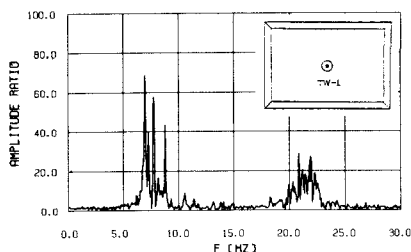
写真-1 実験時の状況

地表面加速度、タンクの水平方向加速度および鉛直方向加速度、台加速度である。またタンクを設置した場合についてはホワイトノイズを入力して地盤とタンクの共振曲線を求めた。

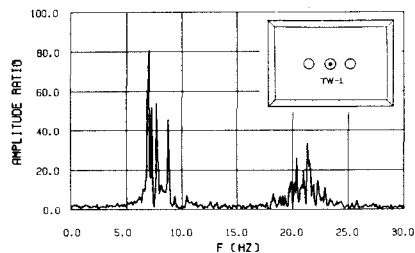
3. 実験結果と考察

図-1はタンクを1基、3基、9基順次設置し、ホワイトノイズを入力した場合の中央タンク底盤での水平方向加速度の記録である。地盤の共振ピークは1次が7.0～7.5Hz、2次が21.0～22.0Hz付近に現れており、地盤はせん断振動をしていることがわかる。また8.8Hz付近のピークはタンクを設置したために強調されたものである。タンクを群設した場合の影響についてみると、タンク1基と3基では共振曲線の形状、共振振動数および共振点の応答振幅には明確な差異は認められないが、タンクを9基設置した場合には前者に比べて共振点の応答振幅が非常に大きくなっている。これらの現象はタンクを群設した場合の危険性を示しているようであるが、今後タンク間隔の影響等を含めて詳細に検討する必要がある。次に、今回の限られた条件での実験を補足するために、2次元有限要素法により解析的検討を加えた。まず図-2はタンクを3基設置した場合の中央タンクの水平方向加速度共振曲線について実験値と計算値を比較した1例である。この場合の解析モデルは、その対称性を考慮し地盤部分を131節点、107要素に、タンク部分を32節点、18要素に分割した。また地盤端部の境界条件は実験時の状況を考慮し固定とした。図より明らかなように、実験値にみられる1次共振点付近の複数のピークは計算結果には現れておらず、また地盤2次の共振ピークの実験値が計算値よりも大きくなっている点を除けば、1次共振点の応答値や全体的な形状について比較的よく一致していると言えよう。図-3はタンク間隔の影響を調べるため、前述の解析モデルを使ってタンクを3基設置した場合の中央タンクの水平方向加速度共振曲線を比較したものである。タンク間隔 L がタンク直径 D よりも小さい、即ち $L/D < 1.0$ の場合では、タンク間隔が大きい程応答が小さくなる

というものではなく、群設効果により高次振動のピークあるいは地盤1次に対応する共振ピークの大きさなどが複雑に変化する。また $L/D = 1.0$ では、 $L/D < 1.0$ の場合に比べて共振点の応答振幅は小さく、概ね安全側の



図一(a) 共振曲線 (タンク1基)



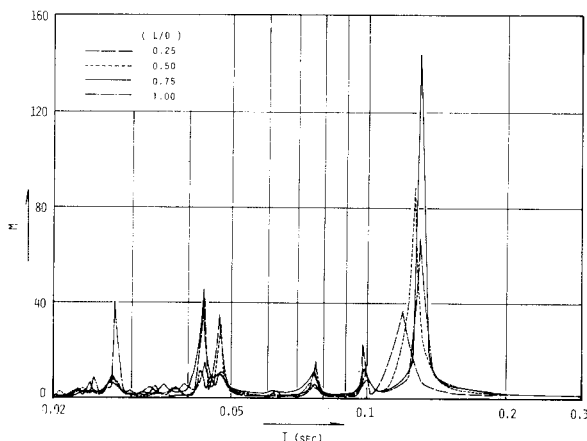
図一(b) 共振曲線 (タンク3基)

傾向を示している。海洋に石油タンク群を建設する場合、特に防災などの安全面から隣接タンクの間隔をどのくらいにするかということは非常に重要な問題になると思われ、今後の課題として残った。石油タンク周辺の海水の影響は、周知のようにタンクの付加質量あるいはタンクに作用する動水圧として算定することができる。今回の実験では実験装置の関係から周辺水を含めた実験を行うことができなかったので、従来のポテンシャル理論を用いて直径100 mの円形石油タンクが、関東大震災クラスの地震加速度300 galを地表面に受けた場合の動水圧分布を示したのが図-4である。断面設計用荷重としての動水圧は、水平運動に対して水深30 mの場合は最大5.5 t/m²、水深40 mの場合には最大6.8 t/m²となる。この場合タンクが単体で設置された場合を対象にしたが、タンクが群設された場合にはタンクが半径だけ離れると動水圧の影響はなくなるという報告²⁾がある。

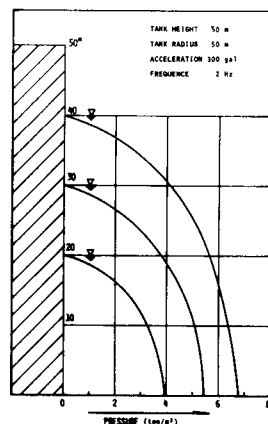
本実験は通産省より日本海洋開発産業協会(JOIA)が委託を受けた「石油の海洋備蓄システムの開発調査」の一環として清水建設㈱が行った模型実験の一部である。この機会を与えていただいたJOIAをはじめ実験にあたって協力いただいた方々に感謝致します。

参考文献

- 1) 例えば、白砂健、後藤洋三：群地下タンク模型振動実験について、第33回年次学術講演会概要集、昭和53年10月
- 2) JOIA：着底方式タンクの地震時挙動におけるシミュレーション実験、昭和50年3月



図一3 タンク間隔の影響



図一4 動水圧分布