

(株)大林組 正員 後藤 洋三

(株)大林組 正員 白砂 健

1. はじめに

原油等の原燃料を貯蔵する円筒型地下タンクの耐震性を検討するため、地下タンク-地盤連成系の模型振動実験と回転体有限要素法による動的解析を行なった。模型実験は振動台を用いて行ない、加速度の他、タンク側壁に作用する動土圧と側壁に生じる歪を測定してその結果を有限要素法による計算値と比較した。その結果、模型実験と動的解析の適合性ならびに地下タンクの地震応答特性について2,3の知見を得ることが出来たのでここに報告する。

2. 模型実験の概要

沖積地盤に建設された5万KL級の重力底版式地下タンクを想定し、長さの縮尺が1/150の模型を製作した。図-1は模型の概要を示したものである。模型の地盤は増粘材を添加したアクリルアミドゲルで製作し、タンクは金属粉を混合したシリコンゴムで製作して重量と剛性を調節し、それぞれ慣性力と復元力に関する相似率を満足させた。また、地盤の形状を周辺自由の円形とし、境界の条件が回転体有限要素法の条件と適合するようにした。

実験は振動台上で行ない正弦波と地震波で加振した。測定内容はタンクのスウェイとロッキングの加速度、タンク側壁の歪、側壁に作用する動土圧、およびタンク周辺地盤内の加速度である。

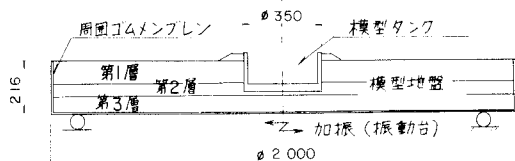


図-1 模型の概要

3. 回転体有限要素法による解析

模型のタンクと地盤を回転体有限要素でモデル化し3次元の解析を行なって正弦波による定常加振状態における応答値を計算した。図-2は計算モデルを示したもので、地盤をソリッドのリング要素、タンク側壁を厚肉シェル要素、タンク底版を剛な円板要素でそれぞれモデル化した。模型地盤の側方境界はゴム膜で作られているので、この膜の拘束効果を等価なバネ要素によってモデル化した。

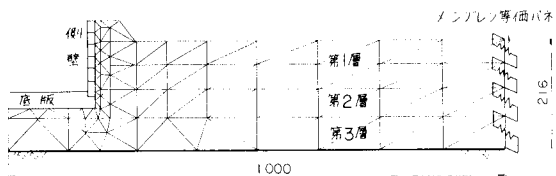


図-2 有限要素モデル

	S波速度 m/sec			ポアソン比
	第1層	第2層	第3層	
測定値	1.50	2.90	5.80	0.50
修正値	1.00	2.31	5.09	0.45

表-1 材料定数の修正

モデル化に必要な材料定数は実験と並行して行なった材料試験で測定された値を使用した。地盤のS波速度とポアソン比については表-1に示す修正値を用いた。S波速度の修正は計算から求められる1次共振振動数を実験と一致させるために行なったものであり、材料試験におけるS波速度の測定誤差と要素分割の粗さに原因があると推定される。ポアソン比の修正は数値計算誤差を減少させるために行なったものである。模型地盤の減衰性は混入した増粘材の粘性に支配されているので、計算モデルの減衰行列には剛性行列に比例させる内部減衰型を使用した。ただし、各地層と各材料の減衰性の相異を考慮するため各要素毎に減衰係数を定義した。定常応答値を求めるためには、まず複素固有値解析を行い、次いで複素モード毎の定常応答を求めて合成する方法を取った。

4. 計算結果と実験結果の比較

図-3はタンク底版のスウェイの共振曲線を比較したものである。低い振動数域では計算による曲線形状と応答倍率が実験とよく一致するが、高い振動数域では要素分割の粗さが影響して一致しなくなる。ただし、7 Hz 付近に2次の共振点が現われる点は一致している。1次と2次の間に現われるピークは側方境界の影響によるものである。

図-4はタンク側壁に作用する動土圧分布を1次と2次の共振状態について示したものである。実験値は側壁に取り付けた土圧計によって測定されたものであり、計算値は側壁に接する要素の半径方向直応力 σ_{rr} の値である。土圧測定精度を考慮すればよく一致していると言えよう。

図-5と図-6はタンク側壁の鉛直方向歪分布を示したものである。実験では抵抗線歪ゲージによって測定しており、ゴムの側壁に実際に生じている歪より小さな歪が測定される。そのため、別途に行なった予備実験の結果から歪の指示率を50%と推定し、実験値は2倍にして図中にプロットした。土圧と同様に、歪測定精度を考慮すればよく一致していると見なすことができよう。

図-7は壁頂部における円周方向の歪分布を示したものである。軸歪については実験値と計算値はよく一致しているが曲げ歪については全く異なった傾向を示している。実験では模型が完全な軸対称に製作できなかったためにオーバリング変形が発生し曲げ歪が大きくなったと考えられる。計算値は軸対称条件下の解であるためオーバリング成分は発生せず曲げ歪は小さな値となる。

5. 考察とまとめ

(1) 回転体有限要素法にもとづいた計算法によって実験結果を解析したところ、計算値は実験値とほぼ一致した。

(2) 実験、計算両値ともタンク側壁に作用する動土圧は地表面付近で大きな値となるが、タンク周辺地盤には大きな歪が生じているので歪の増加による地盤の剛性低下を考慮すれば地表付近の動土圧は減少すると考えられる。

(3) 地震波が鉛直下方から入力する場合でもタンクが軸対称条件から僅かにずれているとオーバリング変形が発生し、側壁円周方向の曲げ歪が大きくなる。地震波の表面波成分による応答も考慮すれば円周方向の耐震計算にはオーバリングを考慮できる計算法を取る必要がある。

参考文献

白砂, 後藤 地下タンク模型振動実験について 土木学会関東支部第5回年次研究発表会講概集 1978

タンクスワイ/台振幅

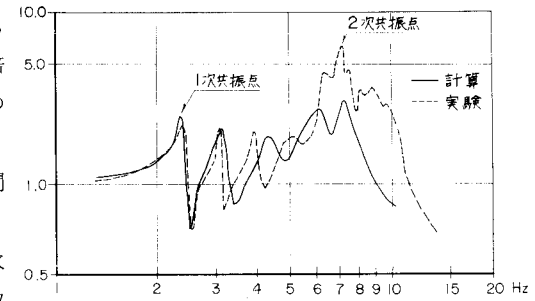


図-3 共振曲線の比較

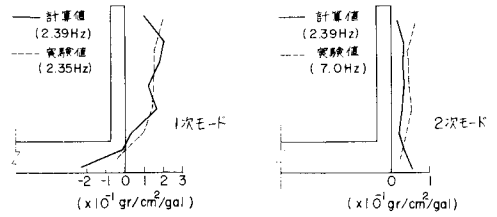


図-4 動土圧分布の比較

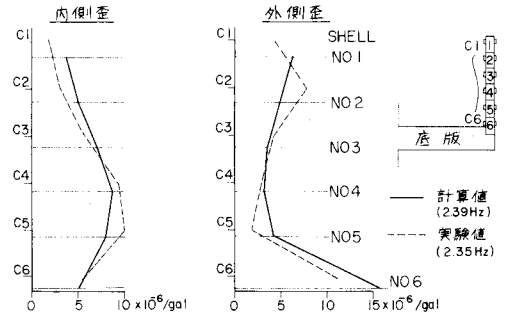


図-5 歪分布の比較 (1次共振)

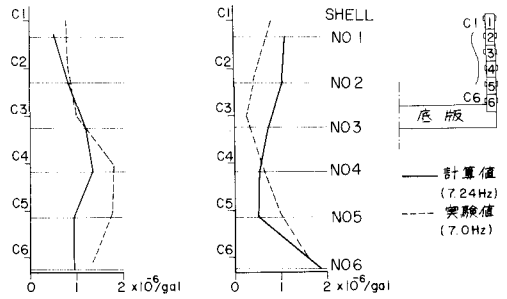


図-6 歪分布の比較 (2次共振)

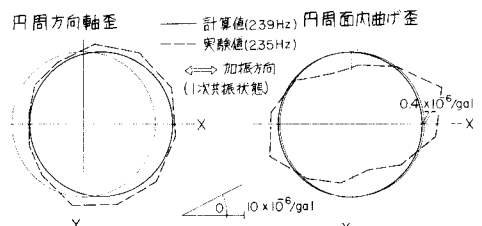


図-7 円周方向歪分布の比較