

実矩形貯水槽のバルジング振動推定のための実験的研究

岐阜工業高等専門学校 学生会員 ○宮崎泰樹
森松工業株式会社 正会員 青木大祐
岐阜工業高等専門学校 正会員 渡邊尚彦

森松工業株式会社 正会員 行田聡
森松工業株式会社 正会員 坂東芳行

1. はじめに

近年、地震波の短周期成分によって引き起こされるバルジングによる貯水槽の破損被害が報告されている。これまでタンクのバルジング現象に関する研究では付加水質量の影響に着目した接水固有振動数計算の実用公式が提案されている¹⁾。しかし実際の貯水タンクには剛性を高めるための内構材が取り付けられており、側壁は凸部を持つパネルで構成されている。本研究では側壁がパネルで構成されるより実タンクに近い模型タンクについて振動実験を行い、解析解と比較することでバルジング周波数簡易推定について検討した。

2. 実験条件

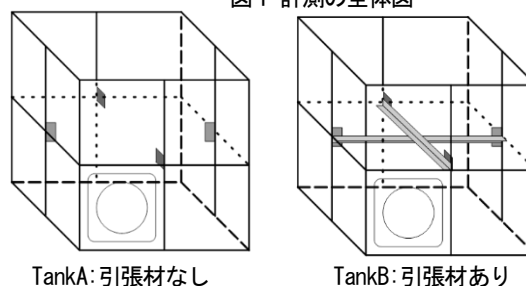
はじめに図1に計測の全体図を示す。タンクは板厚1.5[mm]、1辺500[mm]の正方形ステンレスパネルを4枚溶接したものを1面の側板とする1m角の立方体とした。材料はSUS444である。パネルには実タンクを模擬した曲面を持たせている。実際の貯水タンクは側面に縦補強材が溶接され、これを引張材やトラス材で拘束する構造となっている。本実験では図2に示すように引張材なしのものをTankAとし、引張材を模擬したアングル材を、側壁中央にボルト接合したものをTankBとした。これに液位0%、20%、40%、60%、80%、100%と変化させて実験を行った。加振は大変位地震動再現試験装置(サンエス社製 SPT3D-15K-85L-50T)を使用して振動台上のタンクに強制振動を与えた。加振条件はsweep加振で得られたバルジング周波数周辺で加速度振幅は0.2gとして固定周波数加振実験を行った。図3にひずみゲージ、加速度センサーの取付け位置を示す。サンプリングタイムは200[Hz]とした。

3. 実験結果

固定周波数加振によって、ひずみピークが確認された周波数を表1に示す。斜体はひずみが特に大きい周波数である。TankAとTankBでのバルジング周波数の差は1[Hz]程度にとどまっており、引張材のバルジング周波数への影響は非常に小さいといえる。このことは、昨年度報告した平板のみで構成されたタンクでも



図1 計測の全体図



TankA: 引張材なし

TankB: 引張材あり

図2 タンク概要

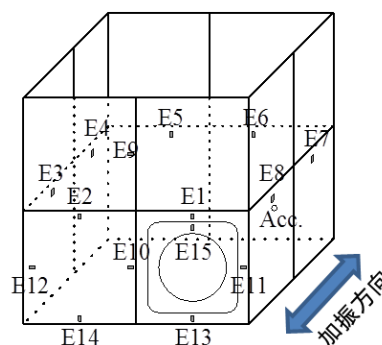


図3 測定位置

確認された。図4に液位20%と80%でのひずみ応答曲線を示す。液位80%ではTankAとTankBで大きな差は見られないが、液位20%では51[Hz]にTankAでのみ観察されるピークが存在する。このことから、引張材は低液位条件で振動特性に影響しやすいといえる。同じ液位条件でも複数のピークがみられるが、周波数によってひずみが大きくなるパネルが異なっている。例えば、TankAの液位80%では、10[Hz]付近で加振方向に垂直な面(E1,E5)、25[Hz]で加振方向に行な面(E3,E7)のひずみが大きくなっている。これから周波数によって異なる振動モードが現れているといえる。

4. 解析との比較

次に、実パネルと等価な剛性を持つ一様平板側面を

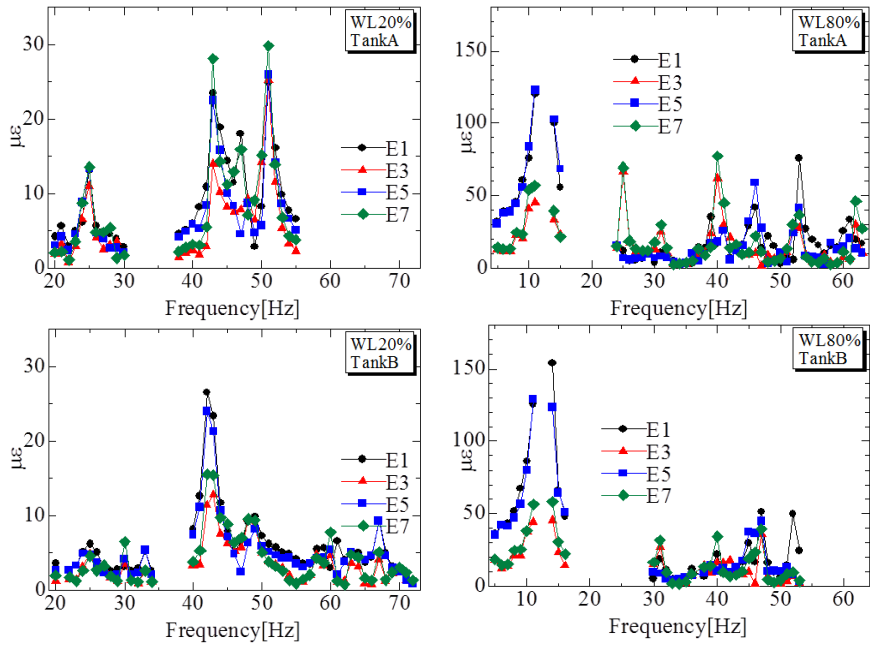


図4 固定周波数加振における応答曲線

表1 固定周波数加振でのバルジング周波数

液位	TankA	TankB
0%	26,48,51,61	25,48,51,53,93,97
20%	25,43,51	42,48,57,67
40%	20,28,52	21,28,31
60%	15,42,50	14,43
80%	13,25,31,40,45,53,62	12,31,45
100%	10,25,29,33,39	10,22,25,29,33,37

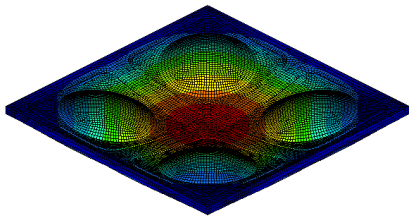


図5 側板パネルの1次固有振動モード

表2 解析諸元

タンク	密度	[kg/m³]	7750
	ポアソン比		0.3
水	密度	[kg/m³]	1000
	体積弾性率	[Pa]	2.25×10⁹

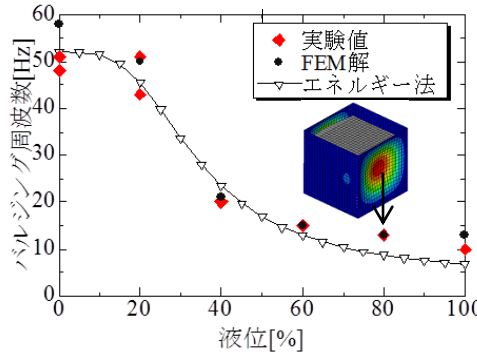


図6 簡易推定と実験値の比較

持つタンクを対象として、エネルギー法と FEM 解析により各液位でのバルジング周波数を算定した。等価な剛性はパネル 4 枚を接合したモデルに対し、4 辺単純支持条件で固有周波数解析を行い、一様平板に関する解析解と比較することによって求めた。得られた 1 次固有振動モードを図 5 に示す。ここで得られた換算ヤング率 E^* を使用し、次に一様平板で構成されるタンクモデルに対し、構造流体連成を考慮した固有周波数解析を行った。ここで解析諸元は表 2 に示すとおりであり、タンク壁は低減積分シェル要素、流体部分は六面体音響要素を使用した。境界条件は底板の 4 辺および頂部の変位を拘束した。また、比較のため等価剛性を有するタンクモデルに関し Rayleigh-Ritz のエネルギー法を用いて接水振動数を求めた。ここでは内容液はポテンシャル流体とし、向かい合う側壁は $\sin$ 半波の対称振動モードを仮定して求めている。図 6 は等価剛性を持つ板を用いて求めたエネルギー法と FEM 解を実験結果と比較したものである。液位に対するバルジング周波数予測はエネルギー法、FEM による解のいずれも概要をとらえられているといえる。エネルギー法

と FEM 解にずれが生じているのは、エネルギー法で仮定したたわみモードが異なることが考えられる。一方低液位において実験値は FEM による解を下回っている。これは、低液位条件では構造詳細部のバルジング周波数への寄与率が高液位時と比べて大きくなり、等価剛性平板によるモデル化では正確に振動特性を模擬できないからだと考えられる。以上より 等価剛性の考え方により、中高液位ではバルジング周波数を精度よく予測でき、エネルギー法による簡易算定も一定程度適用可能であることがわかった。

5. まとめ

本研究で得られた知見を以下に示す。

- ・引張材がタンクのバルジング周波数特性に与える影響はわずかであり、特に高液位条件で小さい
- ・低液位条件では引張材によって抑制されるバルジング振動モードも存在する。
- ・換算曲げ剛性を使用することで、側壁が平板でない場合でもエネルギー法でバルジング周波数が推定可能

参考文献

1) 遠山泰美, 明石委子: 矩形タンクの接水振動解析, 造船協会論文集第 182 号, pp.601-609, 1997.