

実矩形貯水槽のバルジング振動簡易推定のための実験的研究

岐阜工業高等専門学校 正会員 ○渡邊尚彦, 学生会員 宮崎泰樹
森松工業株式会社 正会員 行田聡, 青木大祐, 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。これまで付加水質量の影響に着目したタンクの接水固有振動数計算の実用公式が提案されているが, 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振動数簡易推定について検討した。

2. 実験条件

図1に計測の全体図とひずみ・加速度計測位置を示す。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1 m 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左に示すように引張材なしのものをTank Aとし, 引張材を模擬した L30×30×3-1000 mm アンクル材を側壁中央にボルト接合したものをTank B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振動数周辺で加速度振幅は 0.2 g として固定振動数加振実験を行った。サンプリングタイムは 200 Hz とした。比較のための解析には汎用有限要素解析ソフト ABAQUS を使用した。

3. 実験・解析結果

固定振動数加振によってひずみピークが確認された振動数を表1に示す。斜体はひずみが特に大きい振動数である。図3に液位 20% と 80% でのひずみ応答曲線を示す。液位 20% では 51 Hz に Tank A でのみ観察されるピークが存在するが, 液位 80% では Tank B

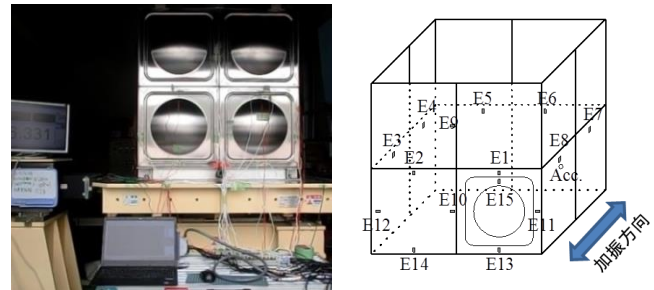


図1 計測の全体図

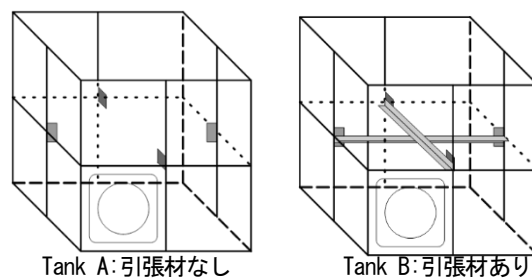


図2 タンクモデル

で応答は抑制されているものの振動数に大きな差は見られない。このことから, 引張材は特に高液位条件において影響が小さいといえる。次に, 凸部を有する側壁を一樣平板として簡易的にモデル化し, エネルギー法と FE 解析による各液位でのバルジング振動数算定を試みる。解析諸元は表2に示す。ここで, タンク側壁について同寸法の平板での相当する剛性 D^* を以降等価剛性と呼ぶこととする。等価剛性は4辺単純支持条件で固有振動数解析を行い, 同寸法の一樣平板に関する解析解と比較することによって算出した。図4に解析モデルを, 図5に1次固有振動モードを示す。得られた等価剛性 D^* を持つ一樣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 FEM による固有振動数解析を行った。ここで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¹⁾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, 向かい合う側壁は sin 半波の対称振動モードを仮定した。

キーワード 矩形タンク, 内構材, バルジング, 接水振動, 付加水質量, 等価剛性

連絡先 〒501-0495 岐阜県本巣市上真桑 2236-2 岐阜工業高等専門学校 TEL 058-320-1402

表 1 バルジング振動数

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

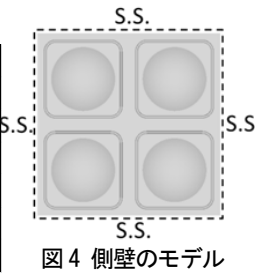


図 4 側壁のモデル

表 2 解析諸元

SUS444	密度 ρ_s	[kg/m ³]	7750
	弾性係数 E	[N/m ²]	2.06×10^{11}
	ポアソン比 ν		0.3
水	密度 ρ_w	[kg/m ³]	1000
	体積弾性率 κ	[N/m ²]	2.25×10^9

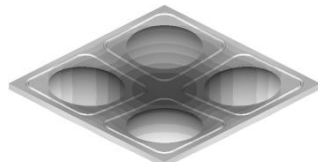


図 5 側壁の固有振動モード

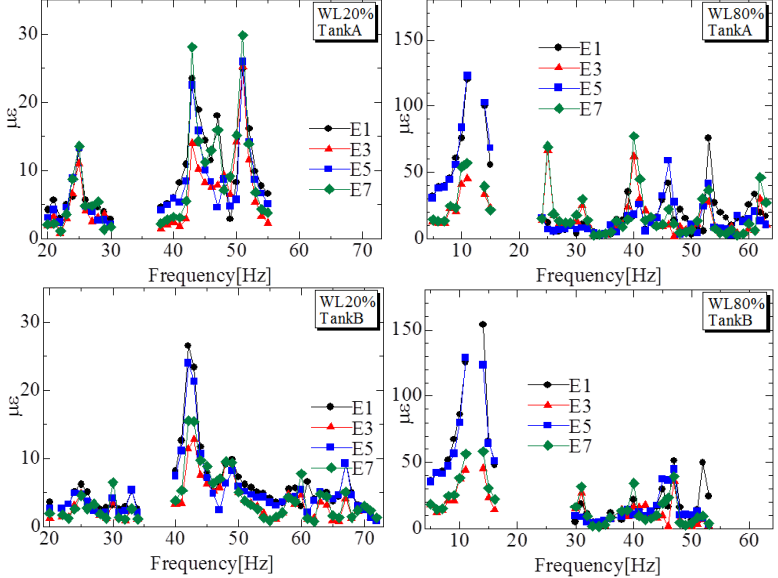


図 3 固定振動数加振における応答曲線

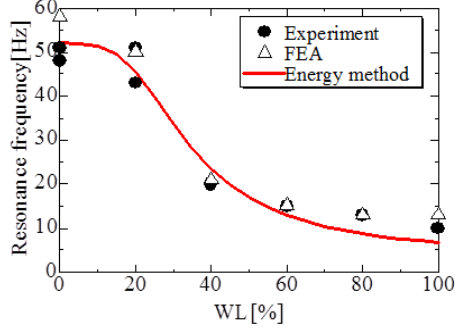


図 6 簡易推定と実験値の比較



図 7 実矩形タンクの全体図と側壁

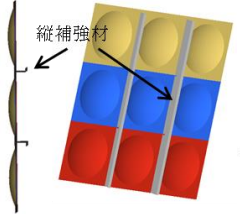


図 8 側壁振動モード

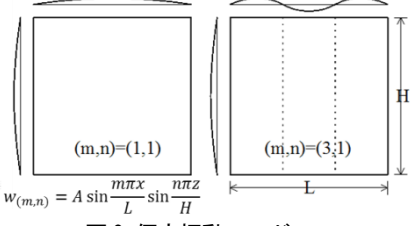
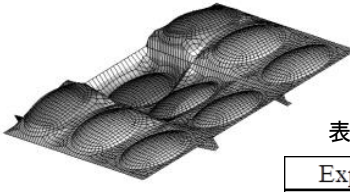


図 9 仮定振動モード

表 2 実タンクのパルジング振動数

Exp.[Hz]	Cal.(1,1)[Hz]	Cal.(3,1)[Hz]
4.4	2.5	4.7

図 6 はエネルギー法と FE 解析により求めた解を実験結果と比較したものである。等価剛性を使ったいずれのパルジング振動予測は実験の概要を捉えている。

4. 実タンクへの適用

等価剛性を使ったエネルギー法でのバルジング振動数推定の実タンクへの適用性を検討する。過去に実験が実施されている 1000 mm×1000 mm パネルを 9 枚結合して 1 面とする 3 m 矩形タンクを対象とした²⁾。タンク全体図と側壁への縦補強材配置を図 7 に示す。解析より得られた側壁の 1 次固有振動モードを図 8 に示す。Tank A とは異なり、縦補強材位置で節となる図 9 の(m,n)=(3,1)に近いモードが現れている。このときの固有振動数を(1,1), (3,1)モードの平板の固有振動数の解析解と比較し、それぞれ等価剛性を計算した。表 2 は液位 90%時のエネルギー法で計算したバルジング振動数を実験値と比較したものである。エネルギー法で

仮定した振動モードは等価剛性計算と同じとし、板厚は平均板厚の 2 mm で一定とした。モードを(1,1)とした場合は実験値を大きく下回っているが、(3,1)とした場合は誤差 7%程度に収まっている。以上から、縦補強材による拘束を適切に仮定すれば、等価剛性を使って簡易的にバルジング振動数を推定できるといえる。

5. まとめ

本研究で得られた知見を以下に示す。

- ・引張材がタンクのパ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
- ・補強材による拘束効果を適切に仮定すれば、等価性を使用することで側壁が平板でないタンクでもエネルギー法による簡易バルジング振動数推定が可能となる

参考文献

- 1) 遠山, 明石: 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.
- 2) 青木ら: 短周期振動を受けるステンレス鋼製矩形水槽に対する制振装置の実証, H28 土木学会中部支部発表会, 2017.