

2 槽式水槽におけるバルジング応答に関する研究

岐阜工業高等専門学校 学生会員 ○細野 隼佑
 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

1. はじめに

近年、地震動の短周期成分によって引き起こされるバルジング現象による貯水槽の多数の破損被害の報告を受けて矩形タンクのバルジング設計に対する研究が活発化し、2022年に水道施設耐震工法指針が改定され矩形タンクの設計の際にバルジング現象を考慮することになった。一方で矩形タンク形式として2槽式タンクも現在広く使われているが、1槽式タンクに比べて研究事例が少ない。この2槽式タンクの設計は1槽式タンクの設計手法を流用し、タンク中央の仕切り板については側板の2倍の動水圧を想定したものとなっている。しかし、2槽式タンクで確認される複雑な振動モードを考慮するとその妥当性は確認されていない。そこで本研究では2槽式タンクのバルジング応答の特徴を把握し、合理的な設計法を提案することを目的とする。

2. 解析方法

本研究では2槽式タンクモデルを対象とし、有限要素解析ソフトADINAを用いて解析を行った。解析諸元をTable1に示す。解析モデルのサイズはFig.1に示すような $L \times B \times H = 4 \times 3 \times 3$ [m]とし、板厚は20mmとした。液位 d は90%として2.7mとした。要素は流体部でポテンシャルベース流体要素、タンク壁部は4節点シェル要素を使用し流体と構造の連成を考慮し、流体上部は自由表面を定義した。分割数はタンクを $20 \times 20 \times 20$ 分割とした。また、各壁面に作用する圧力を評価するにあたり、Fig.1の奥行方向中央位置の4断面に作用する圧力をCenter1, 2, Out1, 2として検討評価した。

解析モデルは実際の2槽式タンク同様に天板ありを基準としたが、既往の接水振動を求める解析解との比較のため、天板無しで仕切り板に垂直な壁面を極薄板(0.1mm)として拘束したモデルでの固有振動数とも比較した。その後基準モデルに対して、仕切り板の板厚20mmから5mm刻みで40mmまで変化した5ケースを対象として、それらに固有値解析と時刻歴応答解析を行った。時刻歴応答解析においては、模擬地震波として東北地方太平洋沖地震日立波、熊本地震益城波を使用し、Fig.1のx方向に加振した。時刻歴応答解析では、減衰定数5%に相当する

Table 1 Material property

Tank	Young's modulus	E_{wall}	[N/m ²]	1.93×10^{11}
	Density	ρ_t	[kg/m ³]	7930
	Poisson's ratio	ν		0.30
	Thickness	t_{wall}	[mm]	20.0
Water	Density	ρ_w	[kg/m ³]	1000

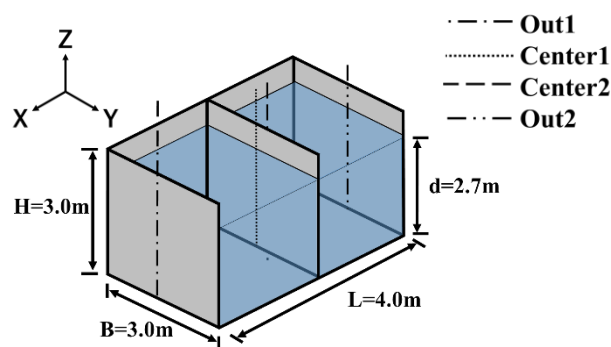


Fig.1 Analysis Model

Rayleigh 減衰と有限変形を考慮した。

3. 解析結果

はじめに固有値解析の結果と既存の遠山ら¹⁾によるモードを仮定して解析的に得られた接水振動解の比較結果をTable2示す。表より、文献¹⁾で計算例として挙げられている全外壁拘束条件についての結果とは非常に近い接水振動数が得られており、また対称・並進モードに応用して求めた解析解もFE解の大小関係をとらえられている。このように条件を揃えれば各モード接水振動数は比較的一致した結果が得られるが、そこで用いられている側壁の拘束や天板の有無などの仮定が実タンクとは異なり、結果に影響することが分かる。次に仕切り板の板厚を変化させた基準モデルに対して最外壁と仕切り板のたわみが反相である対称モードと同相である並進モードとを抽出し、仕切り板の板厚を変化させたときの各モードの圧力コンター図をFig.2に示す。

圧力コンター図を見ると、対称モードにおいて25, 30mmを境として、それよりも板厚が小さいと仕切り板側に、厚いと側壁側に圧力が集中することが分かる。並進モードの圧力コンター図を見ると対称モー

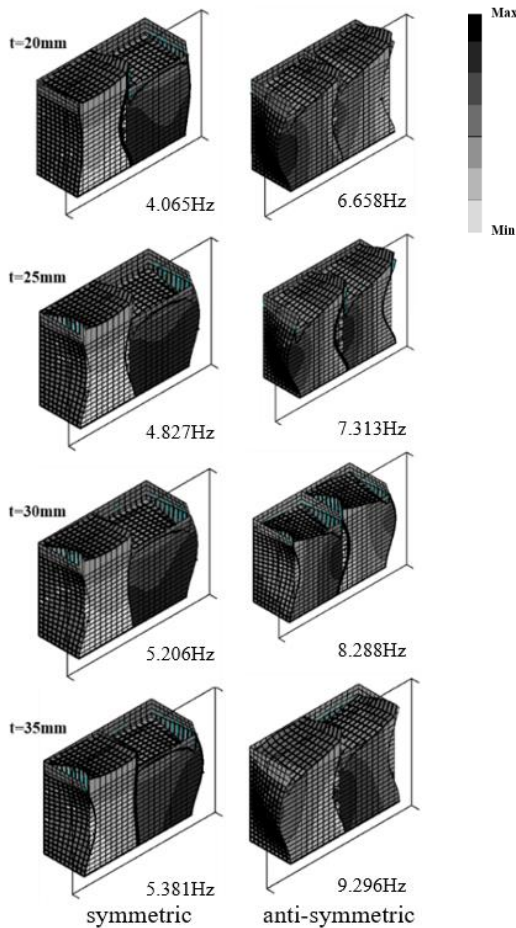


Fig.2 Pressure of each mode

ドと同じく 25mm で側壁に作用する圧力と仕切り板に作用する圧力は等しいが、それより薄い板厚だと逆に側壁側に圧力が集中するようになり、板厚が厚いと仕切り板側に圧力が集中するようになった。このため特定の基準板厚を境として板厚を変化させると各モードにおいて最外壁側と仕切り板側のいずれかの壁面に圧力が集中することになり、バルジング振動数によって注意すべき壁面を変えなければならないというのが考えられる。

次に、日立波、益城波の地震波時刻歴応答解析結果を Fig.3 に示す。それぞれ、最外壁最大圧力作用時の Out1, Out2 断面の圧力と仕切り板最大圧力作用時の Center1, Center2 断面の圧力分布とを重ねて表示している。日立波の圧力分布図を見ると、25mm で各壁面の圧力分布傾向が重なっていることが分かる。また、板厚を変化させると仕切り板厚 30mm の時に仕切り板に作用する最大圧力は側壁よりも大きくなった。

益城波における圧力分布図を見ると各壁面に作用する最大圧は日立波と同じく 25mm においてはほぼ同じ分布傾向になっていた。また、板厚の増加に伴い、仕切り板の最大圧力も増加しており、仕切り板厚 30mm を超えた 35, 40mm においても最大圧力は側

Table2 Comparison to theoretical frequency (Hz)

	(symmetric)	(anti-symmetric)	
analytical solution	2.06	3.41	2.52
standard model (FEM)	4.07	6.66	
constrained model (FEM)	2.37	4.10	2.50

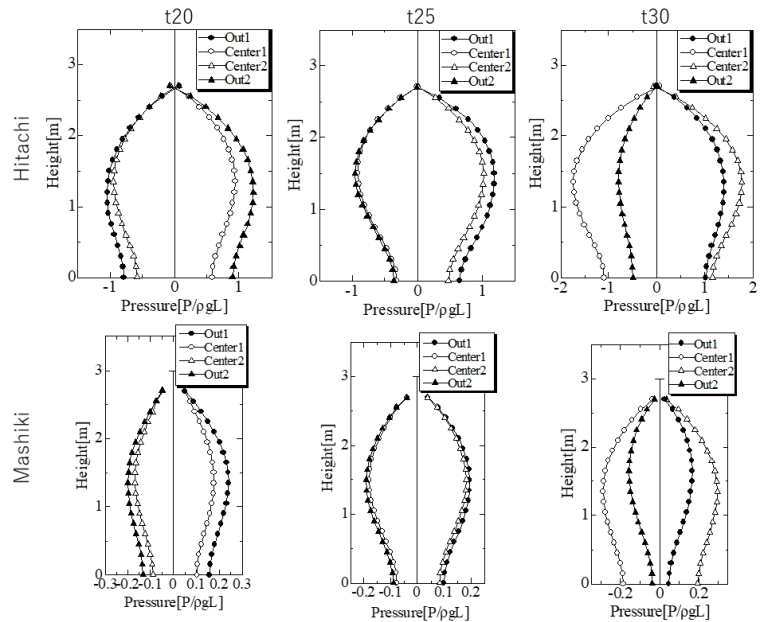


Fig.3 Maximum pressure distribution of each thickness

壁よりも仕切り板で見られ、日立波の場合よりも顕著に見られた。

このように板厚の増加に伴い日立波、益城波では仕切り板(片面)に作用する圧力が最大となるケースが見られた。従来の設計法は仕切り板に作用する水圧は側壁の 2 倍であるとされているが、日立波、益城波において板厚が厚い場合、Center1, 2 に作用する圧力の差を求めると Out の最大圧力よりも 2 倍以上の大きさとなった。このことから日立波、益城波のようにバルジング現象を励起させる地震波が作用したとき、仕切り板に圧力が集中するモードが現れるような板厚条件の場合は従来の設計時の仮定を適用するのが難しいことが分かる。

4. 結論

本研究では 2 槽式タンクを対象とした解析から、仕切り板厚の増加により発生するバルジング圧力モードの変化し仕切り板に作用圧が集中する場合があることが分かった。このため 2 槽式タンクにおける仕切り板に作用するバルジング圧を適切に評価できる新たな設計法が必要となる。

参考文献

1) 遠山泰美:「矩形タンク側壁の接水振動解析」, 日本造船学会論文集, 第 182 号, PP601-609, 1997 年.