

2 槽式水槽におけるバルジング作用動水圧分布解析

岐阜工業高等専門学校 学生会員 ○細野隼佑 正会員 渡邊尚彦
森松工業株式会社 正会員 行田聡, 青木大祐, 増井龍也

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となった。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応用し、仕切り板作用圧は側壁の2倍の剛体圧を想定したものとなっている。そのため2槽式タンクで確認されるバルジング振動モードを反映した適切な圧力推定が必要と考えられる。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まで変化させた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、兵庫県南部地震神戸波を使用し、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

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

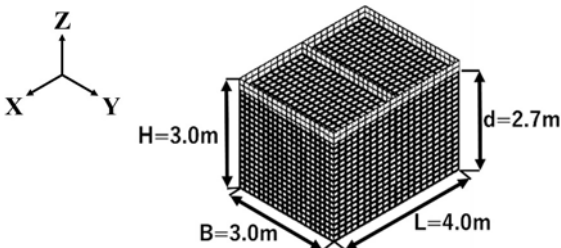


Fig.1 Analysis model

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

る 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に示す。表より、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動水圧力コンター図を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、大き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、それより小さい板厚では逆に

キーワード 2 槽式タンク, バルジング, 接水振動, 付加質量, 構造流体連成解析

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 TEL058-320-1402

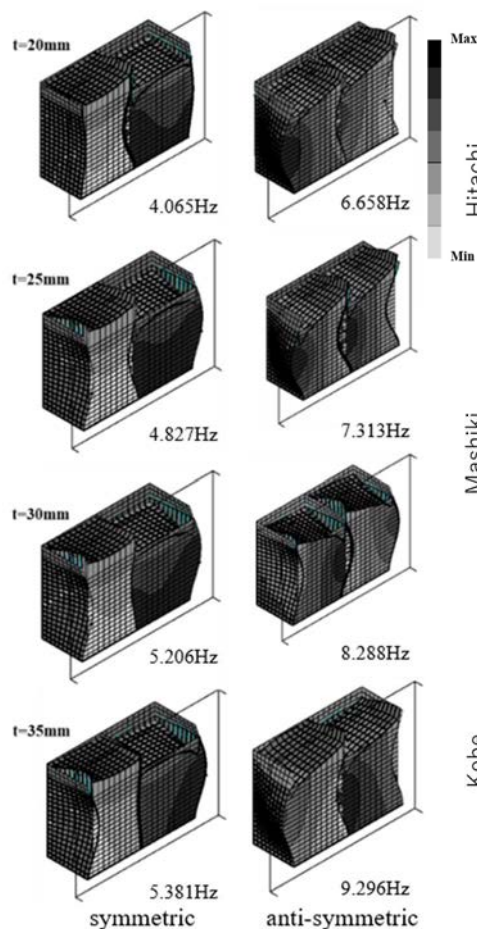


Fig.2 Pressure in each mode

側壁側に圧力が集中し、板厚が大きいと仕切り板側に圧力が集中する傾向が見られたことから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ことが考えられる。

次に、各仕切り板厚ケースに対する日立波、益城波、神戸波各地震波作用時の時刻歴応答解析結果を Fig.3 に示す。それぞれ、最外壁最大動水圧作用時の Out1, Out2 断面の圧力と仕切り板最大動水圧作用時の 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、仕切り板厚 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が、仕切り板厚を変化させると 30mm において仕切り板厚に発生する最大圧力が側壁に発生する最大圧力よりも大きくなる特徴が見られた。

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、側壁の最大圧力を超えていた。

神戸波作用時には最外壁と仕切り板に作用

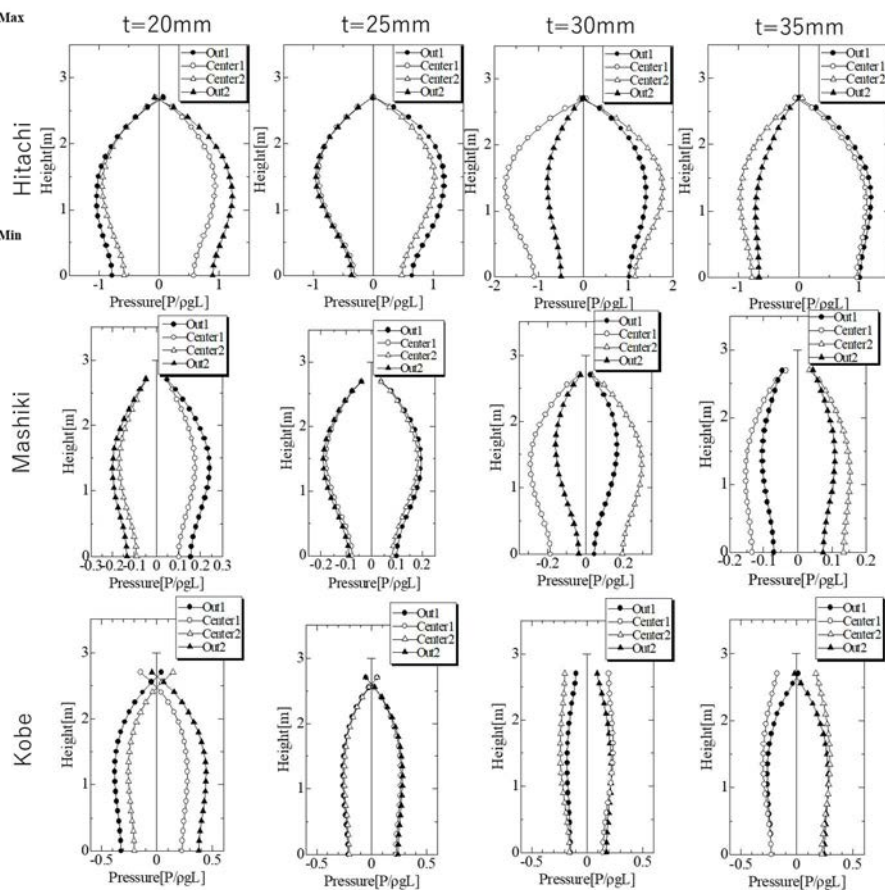


Fig.3 Maximum pressure distribution in each thickness case

する最大圧はほぼ同じであり、圧力分布性状から剛体圧が支配的であったことが窺える。このように日立波、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ていることから、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仕切り板に作用する動水圧が側壁の 2 倍であるとする仮定を適用するのが難しく、応答スペクトルと固有値解析の結果から想定される作用圧力について適切な評価をする必要があると考えられる。

4. 結論

本研究では 2 槽式タンクを対象に、仕切り板の板厚を変化させながら固有値解析、時刻歴応答解析を行った。その結果、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が変化し、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。