

川崎重工業(株)
消防庁
埼玉大学

正角 小川 浩
正角 南本 道尚
正角 奥村 敦志

1. はじめに

近年、タンクの大型化に伴ないタンクは、相対的に変形しやすくなる傾向にあり、その動的挙動に対し、壁体変形の影響も考慮する必要性が生じている。本報告は、このような観点から、前報に引き続き、比較的壁厚の薄い模型タンクを振動台上で加振することにより、壁体変形を考慮したタンクの動的挙動(タンク側壁と内部液体との連成振動(バルジング))を、理論的、実験的に検討することを目的とした。今回は、新たに、側壁のみずみから、振動時の側壁の応力状態を調べ理論との比較を行なった。さらに、タンクを弾性マツト(ゴム板)上に設置することにより、弾性的固定の場合の挙動について、実験的に調べた。以下、これらを中心に報告する。

2. 実験方法

実験には、図-1に示すような直径1m、板厚1.5mm(T1.5)、及び1.0mm(T1.0)の塩化ビニル製タンク(ヤング率 $3.3 \times 10^4 \text{ kg/cm}^2$)を用いた。実験は、このタンクに水を満たし(水深10cm, 90cm)、振動台上に底部を固定し、加速度・変位・動水圧・側壁ひずみなどの正弦波応答を測定した。底部の支持は、剛版上にボルトで固定する場合(完全固定)と、マツト上に底板を設置し、タンク底板とマツトの摩擦で固定する場合(弾性固定)の二通りとした。入力は、水平一方向の正弦波加振で、加速度振幅一定の加速度制御とした。

3. 実験結果及びその検討

表-2に、実験より求めた1次共振振動数を示す。図-3の共振曲線(タンクトップフランジの加速度の応答倍率)からみてもわかるように、1次共振振動は、非常に顕著であり、完全固定の場合、その理論値と非常によく一致を示した。弾性固定の場合は、完全固定の場合と比べて約10%の1次共振振動数の低下がみられた。ゴム板の柔い場合(弾性固定軟)の方が、硬い場合(弾性固定硬)に比べて、その低下の度合いがやや大きかった。また、加速度応答に限らず、全体に、完全固定の場合と比べて、応答ピーク値が低下し、半分以下となった。これらは、弾性固定としたことによる柔軟性の増加が原因と見てい

表-1 タンクの振動台への設置

税 号	I.	II.	III.	IV.
呼 称	完全固定	弾性固定硬	弾性固定軟	
タンク	T1.5	T1.0	T1.5	
ゴム板			硬	軟
寸 法			1300 × 1300 × 20	
弾性係数			120 kg/cm ²	70 kg/cm ²

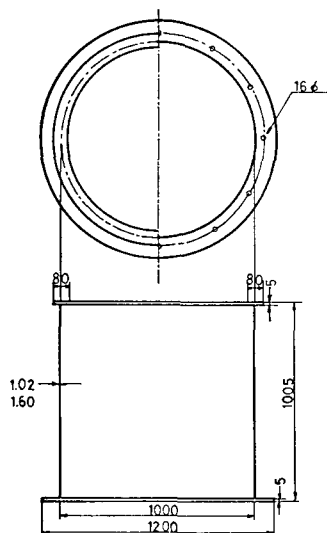


図-1 模型タンク

- 1 Accelerometer (Top)
- 2 Wave Gage
- 3 Wire Strain Gage
- 4 Pressure Gage
- 5 Gap Sensor
- 6 Stand
- 7 Accelerometer (Bottom)
- 8 Base Plate
- 9 Displacement Pickup
- 10 Vibrating Table
- 11 Basin

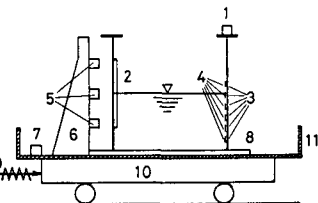


図-2 計測機構

表-2 1次共振振動数と固有振動数の比較

ケース	固定方法	タンク	水深	1次固有振動数 (計算値)	1次共振振動数 (計測値)
I-a	完全固定	T1.0	70 _{cm}	19.39 Hz	19 ~ 20 Hz
I-b			90 _{cm}	14.97 Hz	14 ~ 15 Hz
II-a		T1.5	70 _{cm}	23.70 Hz	22 ~ 23 Hz
II-b			90 _{cm}	18.32 Hz	17 ~ 18 Hz
III-a	弾性固定 硬	T1.5	70 _{cm}	—	17 ~ 18 Hz
III-b			90 _{cm}	—	14 ~ 15 Hz
IV-a	弾性固定 軟		70 _{cm}	—	16 ~ 17 Hz
IV-b			90 _{cm}	—	13 ~ 14 Hz

ると考えられる。

図4、図5に、タンク横断面(高さ90cm)上の膜応力の分布形状を示す。理論では、横断面にの变形は、フーリエ級数の1次の項($n=1$)のみをとり、1つの波と仮定して解析しているが、計測された応力状態も、図4をみると、この傾向を示している。しかし、図5(ケースIV-b)では、側壁の膜応力状態は複雑で、鉛直方向膜応力の横断面上では、3つの波が存在している。これは、ほかのケースにはみられない特徴的な現象であり、このような波数の振動モードが生じていたと考えられる。一方、水深方向分布(図6、図4と同ケース)をみると、鉛直方向膜応力の分布は、底部に向かうほど増加するが、周方向膜応力は、比較的一様である。理論値と比べて小さめではあるが、オーダー、分布形状ともよい対応がみられる。曲げ応力は、底部近傍で若干発生したが、膜応力に比べて、そのオーダーは、きわめて小さく、膜応力状態が支配的であると考えられる。

4. おわりに

バルジングの1次共振振動は、非常に顕著であり、その振動数は、理論値とよい一致を示した。また、全体的に、加速度・変位・動水圧・ひずみの応答値は、理論値とよい対応をみせ、ここで用いた理論手法は、バルジング応答を求めるのに適していると考えられる。しかし、理想的な状態では考えられない挙動(振動方向のずれ、共振ピーク以外での小さなピークが存在など)もいくつか明らかになっており、今後検討を要する課題と考える。一方、弾性的な固定状態は、完全支持の場合に比べ、その共振挙動に大きい変化があることがわかった。今後、実験モデルの検討を含め、理論的、実験的な考察を加えてゆきたい。

なお、理論応答曲線は、共振曲線より求めた減衰定数3%で計算した。理論についての詳細は、参考文献を参照されたい。

参考文献

- 1) 奥村, 中村, 小川「たわみ性を有する円筒貯液タンクの振動性状について」 京大工学部講演要集, 1977
- 2) 岡田, 坂井, 迫田「有限要素法による大型タンクの地震応答解析」 川崎技報 59号, 1975 「同続報」 61号, 1976
- 3) 奥村他「Some Investigations on the Dynamic Behaviour of Flexible Cylindrical Liquid Storage Tank」 埼玉大工学部紀要 7巻, 1977

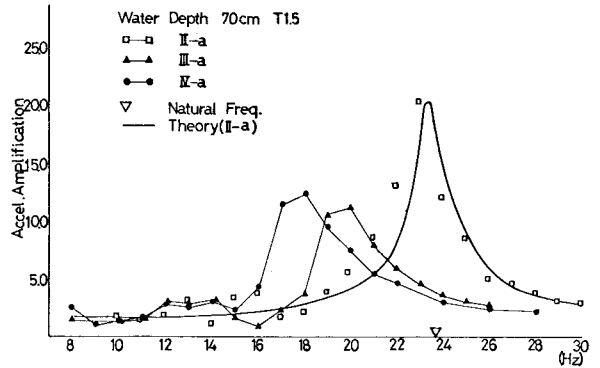


図-3 加速度の応答曲線

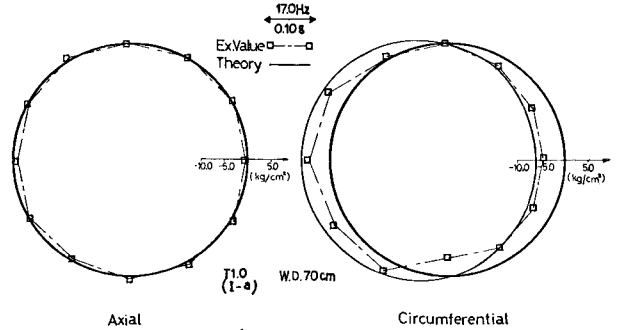


図-4 (I-a) 横断面(高さ90cm)上の膜応力分布

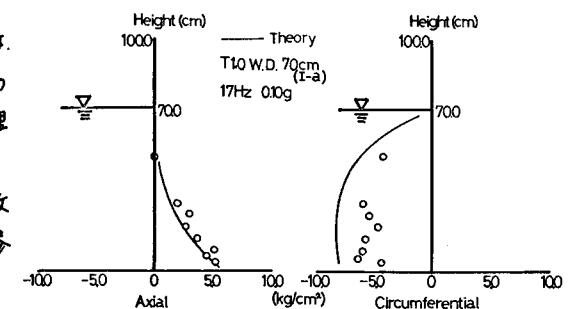
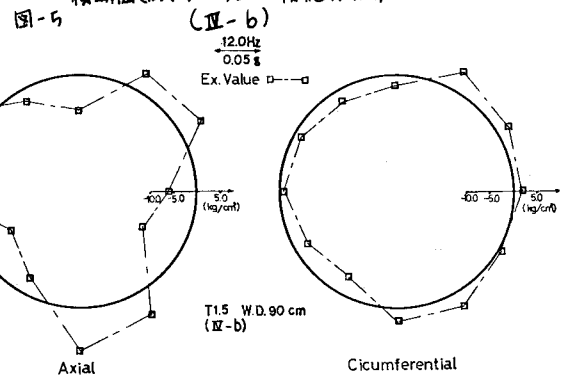


図-6 水深方向の膜応力分布