

二重槽円筒タンク模型の固有値特性について

新日本製鐵 正会員 ○川口周作 森永建設 正会員 荒巻祐輔
九州産業大学 フェロー 水田洋司 正会員 高西照彦
新日本製鐵 正会員 北原伸浩

1. 序論

水道用タンクは配水量の時間変動を調整する機能に加え、地震時や湧水時など緊急時の飲料水の拠点として重要な役割を担っている。また、飲料水に加え消火用水も含まれることから重要な施設として認識されている。著者らは既設タンクの外周に新たにタンクを増設し、増容量と維持管理性を向上させる工法の設計方法^{1),2)}に関し研究を行っている。これまで水平加振を受ける同心・偏心二重槽円筒タンクについて、双曲座標変換と差分法による数値解析法を示し、同時にアクリル樹脂製の模型を振動台上に設置し、定常加振実験を行ってタンク壁面上の動水圧及び波高を計測することにより検証を重ねてきた。本研究では差分解析やFEM解析による数値解析結果と実験結果との比較により、固有値特性を検証することを目的としている。

2. 振動台模型実験概要

タンク模型は既製のアクリル管（厚さ 10mm、高さ 800mm）を用いて作製した。外槽は外径 800mm、内槽は外径 600mm である。実構造では、内槽の底板と基礎を拡幅し、その上に外槽を設けるが、本模型では外槽を固定し内槽を加振方向に±40mm まで偏心させるため、外槽の底板の上に内槽の底板を載せて偏心できる構造とした。スロッシング時の内容液の挙動を調べるために、加速度振幅 2gal、振動数 0.5Hz～1.4Hz までを 0.02Hz 刻みで正弦波加振した。構造体の挙動は加速度振幅 100gal、振動数 5Hz～100Hz までを 0.5Hz 刻みの正弦波加振で調べた。計測は図 1 に示す加速度計の他に、加速度計と隣接して壁面に水圧計を設置した。構造体及び内容液の減衰定数は自由振動加速度波形の振幅比から求め、アクリル樹脂の物理定数試験も実施した。

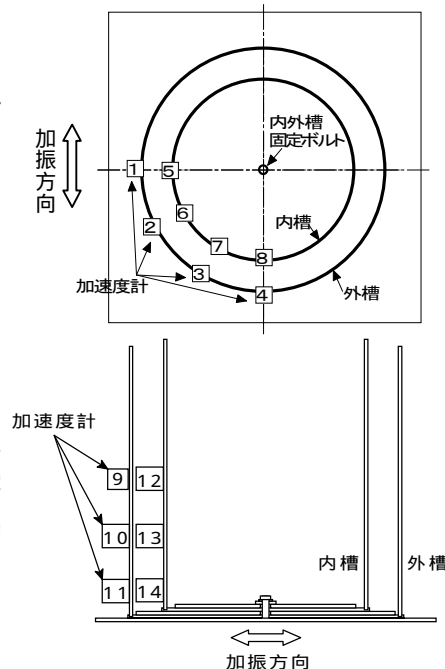


図 1 模型と計測器配置

3. 差分解析概要

解析には次の仮定を採用した。内容液の変位は小さく、線形理論が適用でき、非圧縮、非粘性で非回転である。構造体は剛である。これらの仮定を採用したとき、図 2 に示すように、内槽と外槽に囲まれた領域に存在する内容液の運動を支配する微分方程式は、 ϕ を速度ポテンシャルとして、ラプラスの方程式で表される。次に z 座標はそのままにして、 x, y 座標に変換を施せば、それは双極座標 α, β を用いて式(1)のように表すことができる。内容液の波高は式(2)、動水圧は式(3)で与えられ、差分法を用いて解を求める。

$$h^2 \left(\frac{\partial^2 \phi}{\partial \alpha^2} + \frac{\partial^2 \phi}{\partial \beta^2} \right) + \frac{\partial^2 \phi}{\partial z^2} = 0 \quad \cdots (1) \quad \eta = -\frac{1}{g} \frac{\partial \phi}{\partial t}, \quad (z=0) \quad \cdots (2) \quad \sigma = -\rho \frac{\partial \phi}{\partial t}, \quad (\alpha = \alpha_a, \alpha_b) \quad \cdots (3)$$

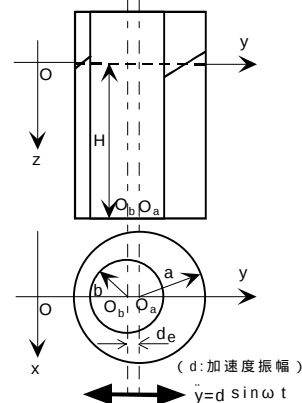


図 2 偏心二重円筒

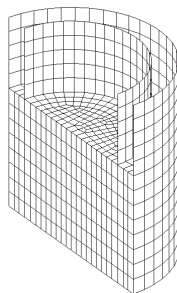
キーワード：二重槽円筒タンク、偏心、固有振動数、スロッシング

連絡先：〒100-8071 東京都千代田区大手町 2-6-3 新日本製鐵(株)水道施設部 TEL03-3275-5720, FAX03-3275-6781

4. FEM解析概要

FEM解析はTDA P を用いて行った。構造体にはシェル要素を用い、内容液には軸対称要素を用いた。スロッシング振動数の固有値解析では振動台模型実験と同様に内槽及び外槽とも水深を500mmとした。構造体の固有値解析では内容液を空にした場合について固有値解析を行った。解析モデルを図3、4に示す。図4の偏心量は加振方向に40mmである。

0.5



0.5

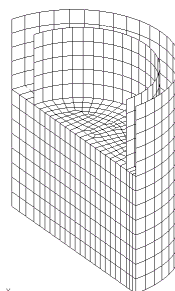


図3 FEM解析モデル（同心） 図4 FEM解析モデル（偏心）

5. 実験結果と解析結果

二重槽円筒タンクの内槽については単槽と同じであることから、内槽と外槽に囲まれた領域に存在する内容液の動的挙動に着目する。その領域のスロッシング振動数の結果は表1のとおりである。実験値は0.02Hz刻みの各振動数における波高と動水圧の結果から共振曲線を作成し、ピーク値となる際の振動数を固有振動数とした。FEM解析では、偏心距離0mm（同心）と偏心距離40mmの2ケースについて行った。いずれの結果も偏心距離の増加につれてスロッシング振動数が高くなることを示し、その値は良く一致している。

構造体の振動数は、同心の外槽に着目すると実験並びにFEM解析とも48Hz付近で三角形のモード、70Hz付近で楕円形のモードとなっている。図5～8に表2の各固有振動数におけるモード図を示す。

表1 スロッシング振動数（外槽）

偏心距離 (mm)	固有振動数 (Hz)		
	実験	差分解析	FEM 解析
0	0.80	0.8042	0.806
10	0.80	0.8049	-
20	0.81	0.8091	-
30	0.82	0.8165	-
40	0.83	0.8274	0.826

表2 構造体の固有振動数

固有振動数 (Hz)			
実験		FEM 解析	
内 槽	外 槽	内 槽	外 槽
44	48	-	47.8
-	-	59.2	59.6
-	72	60.8	69.9
-	81	99.1	90.2

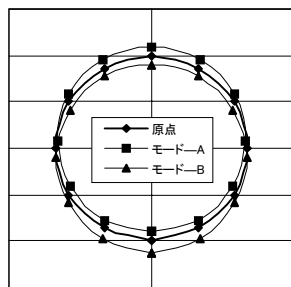


図5. 内槽 44Hz

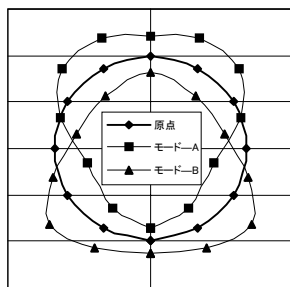


図6. 外槽 48Hz

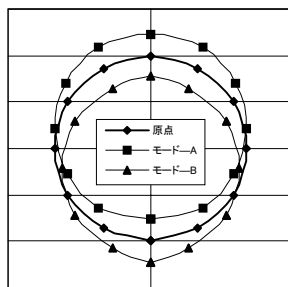


図7. 外槽 72Hz

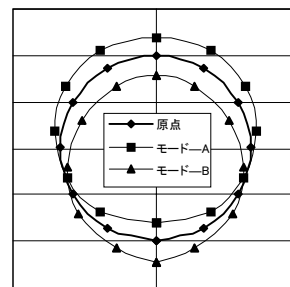


図8. 外槽 81Hz

6. まとめ

本研究における振動台模型実験並びに数値解析によって内容液と構造体の動的挙動が把握できるようになった。この知見により、既設タンクの近傍に流量計室や斜面、フェンスなどが存在し、既設タンクの外周に偏心配置される立地条件においても動的挙動を考慮した設計が実施できタンクの二重槽化が可能となった。

一方、十勝沖地震(2003.9.26)によりタンクのような長周期構造物の耐震性の照査が緊急課題となっている。鋼製の水道用タンクの実績を調べると最大規模では容量 33,000m³となっており、苫小牧のナフサタンクと同規模である。水道用タンクにおいても長周期構造物の耐震性は重要な技術課題であり、今後も研究を続ける予定である。

参考文献

- 1) 高西照彦, 水田洋司, 川口周作: 水平加振を受ける偏心二重円筒タンク内容液の動的挙動, 構造工学論文集 vol. 49A, pp.57-64, 2003.3.
- 2) 川口周作, 水田洋司, 荒巻祐輔, 北原伸浩: 二重槽円筒タンク模型の振動特性, 構造工学論文集 vol. 50A, pp.9-16, 2004.3.