

固定屋根式タンクのスロッシング現象の検証試験

関西大学大学院 学生会員 ○仁尾浩之 愛知工業大学 正会員 鈴木森晶
愛知工業大学 正会員 青木徹彦 愛知工業大学 正会員 奥村哲夫

1. 序論

1964年の新潟地震, 1983年の日本海中部地震や2003年の十勝沖地震では, 長周期地震動の影響により, 浮屋根式石油タンクがスロッシング現象を起こし, 浮屋根の破壊, 液漏れや火災が発生した. これらの被害により, 浮屋根式タンクのスロッシング現象は注目を浴び, 現在多くの研究がされている.

国内には約8万基のタンクがあるといわれている. そのうち直径約40m以上の浮屋根式大型石油タンクは約1割である. 残りの約9割は固定屋根式タンクで, 小型の石油タンクやビルの屋上に設置されている給水タンクなどに採用されている. これらの固定屋根式タンクも地震時にスロッシング現象を起こし, それに起因する被害も報告されている. しかし, これらの固定屋根式タンクについての研究はほとんどされておらず, 対策もほとんど採られていないのが現状である. そこで, 本研究では, 固定屋根式タンクのスロッシング現象を素早く抑制する方法について検討する.

2. 実験内容

地震時に発生した固定屋根式タンクのスロッシング現象の波高をできるだけ抑え, 素早く水面の揺れを抑えるために, タンクの内壁にフィルターを巻く方法を提案する. 直径約0.6mのタンクを使用してフィルターが無い場合とフィルターA~Cをタンクの内壁に巻いた場合でそれぞれ加振試験を行い, フィルターを巻くことによって波高がどの程度抑えられるかを確認する. 実験に使用したタンクを写真-1に, 実験に使用したフィルターを写真-2に示す. フィルターAは厚さ約25mmの天然ヤシ繊維, フィルターBは厚さ約25mmのプラスチック繊維, フィルターCはプラスチック製の網である.

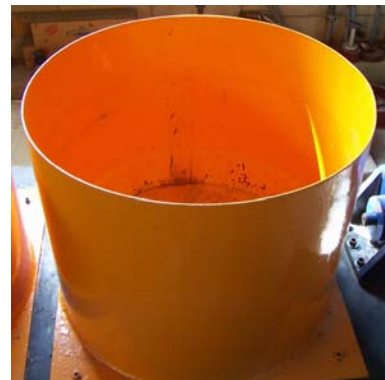


写真-1 タンク

表-1 実験条件

液深(m)	1次モード		2次モード	
	理論振動数(Hz)	振幅(mm)	理論振動数(Hz)	振幅(mm)
0.03	0.55	±2.0	1.52	±2.0
0.05	0.70	±1.5	1.83	±1.5
0.10	0.95	±1.5	2.09	±1.5
0.15	1.09	±0.7	2.14	±0.7
0.20	1.17	±0.5	2.14	±0.5
0.35	1.25	±0.3		

3. 実験方法

フィルターが無い場合と各フィルターをタンクの内壁に巻いた場合の, 各液深における固有振動数付近で振動数を変化させてタンクを加振し, そのときの波高を計測する. 実験条件を表-1に示す. 液深は実験を行った液深, 理論振動数はフィルターが無い時の固有振動数の理論値, 振幅は振動台の加振振幅を示す. スロッシング現象のn次モードの固有振動数の理論値 f (Hz) は式(1)で求められる.

$$f = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{g}{r} \times \varepsilon_i \times \tanh\left(\varepsilon_i \times \frac{H}{r}\right)} \quad (1)$$

ここで, H : 液深(m), g : 重力加速度 (m/s^2), r : タンクの半径(m), ε_i : 1次モードでは1.841, 2次モードでは5.33である.



(a) フィルターA (b) フィルターB (c) フィルターC

写真-2 フィルター

キーワード スロッシング現象, 固定屋根式タンク, フィルター

連絡先: 〒470-0392 愛知県豊田市八草町八千草1247 TEL: 0565-48-8121, FAX: 0565-48-0030

4. 実験結果

4.1 振動数と波高の関係

フィルターが無い場合の固有振動数を基準とし、固有振動数付近で振動数を変化させ、各振動数での波高を比較する。液深0.35mの1次モード、2次モードの加振試験の結果を図-1に示す。液深0.35mでは、フィルターをタンクの内壁に巻くことによってどの振動数でも波高は抑えられた。また、フィルターがない場合は、ある振動数で波高が突出して大きくなるが、フィルターをタンクの内壁に巻くことによって一定値以上の波高はカットされていることがわかる。

4.2 液深と最大波高の関係

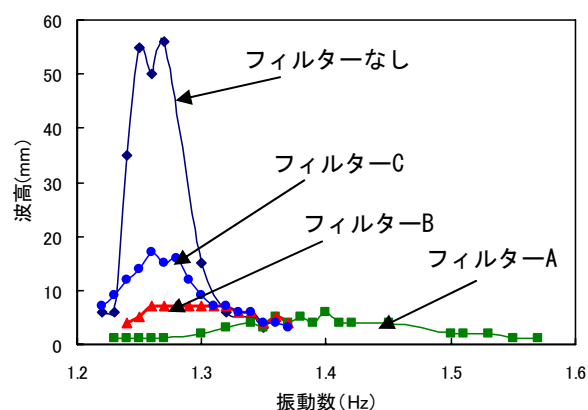
フィルターが無い場合の最大波高を基準とし、液深を変化させて各液深での最大波高を比較する。加振試験から得た最大波高と液深の関係を図-2に示す。1次モードはフィルターA、フィルターB、フィルターCの順に波高抑制効果が大きく、フィルターA、Bでは波高が $1/6 \sim 1/9$ になり、フィルターCでは波高が $1/2 \sim 1/3$ になった。2次モードではどのフィルターもほぼ同じ波高になり、波高は $1/3 \sim 1/4$ になった。1次モード、2次モード共にフィルターによる波高抑制効果が大きく、フィルターA、Bを巻いた場合、1次モード、2次モード共にほぼ同じ波高になることがわかる。

5. まとめ

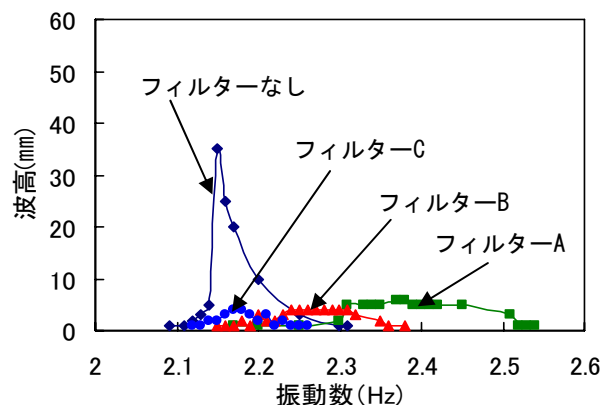
本研究では、直径約0.6mの円筒タンクを使用してタンクの内壁にフィルターを巻いた場合の、固定屋根式タンクの波高の抑制に関する検証試験を行った。フィルターがない場合はある振動数で波高が突出して現れるが、フィルターを巻くことによって一定値以上の波高がカットされていることが確認できた。また、フィルターを巻くことによって最大波高を1次モードでは $1/2 \sim 1/9$ に、2次モードでは $1/3 \sim 1/4$ に抑制することができた。

参考文献

- 1) 神谷篤志, 渡辺修, 岡本隆, 永田茂: 東京湾岸地域におけるLNG地下式貯槽のスロッシング検討用地震動の評価、土木学会論文集 No. 619/I-47, pp. 75-90, 1999. 4.
- 2) 堀郁夫, 川端鋭憲: 地震による石油タンク火災の技術的考察と社会問題, 社会技術研究論文集 Vol. 2, pp. 414-424, 2002. 10.

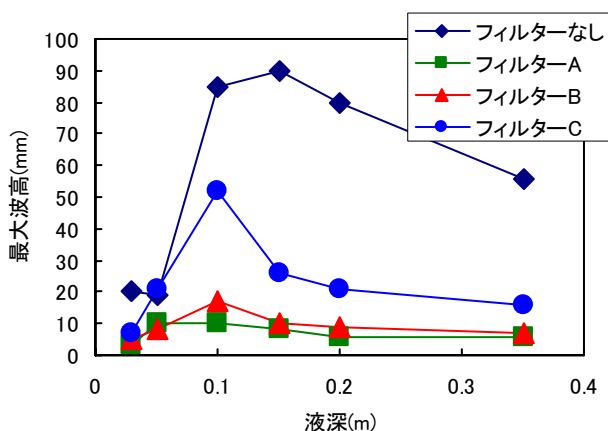


(a) 1次モード 液深 0.35m

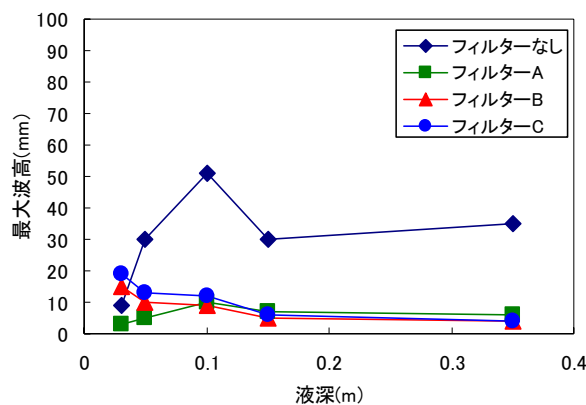


(b) 2次モード 液深 0.35m

図-1 波高-振動数関係



(a) 1次モード



(b) 2次モード

図-2 液深-最大波高関係