

浮屋根式貯蔵タンクにおけるスロッシングの抑制に関する実験的研究

勝井建設株式会社	正会員	○勝井 勇次
勝井建設株式会社	正会員	勝井 優
徳山工業高等専門学校	正会員	原 隆
早稲田大学	正会員	依田 照彦

1. 目的

本研究は石油貯蔵タンクにおいて主流となっている浮屋根式貯蔵タンクにおいて、長周期地震動の入力により生起する、いわゆるスロッシング現象の抑制を試みたものである。手法としてばねと錘より成る抑制装置を浮屋根より吊下し、入力された地震動によるエネルギーの吸収並びにタンク固有周期の誘導による共振現象の抑制を試みた。

2. 実験概要

1) 実験モデル

貯蔵タンクのモデルとして直径56cm、及び直径2mの亚克力製円筒タンクと、同径の円形亚克力板（発泡スチロールにて浮力を付与）を浮屋根に用い、貯蔵液として水を用いた。写真－1に56cmタンクモデルを、写真－2に2mタンクモデルを示す。

2) 実験装置

浮屋根よりばねと錘より成る装置を複数組吊下し、振動波を入力し、水中で自由振動させた。図－1に実験装置の概要を示す。

3) 実験条件

実験装置を吊下した状態でのタンクモデルの1次固有周期を算出し、その数値に合わせた周期の正弦波を水平横方向より入力して最も顕著にスロッシングが発生する状態を基本とした。

3. 実験結果および検討

1) 固有周期の算出

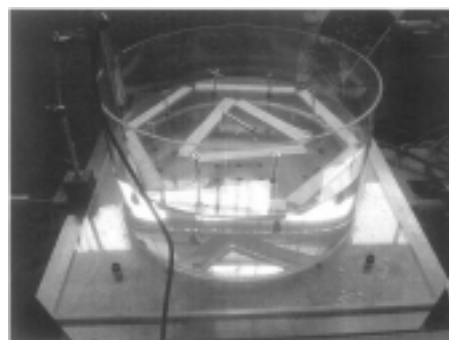
タンクモデルが入力振動に対して最も大きく反応する固有周期Tは式(1)で与えられる。¹⁾

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{d}{3.68g} \coth\left(\frac{3.68H}{d}\right)} \dots \text{式(1)}$$

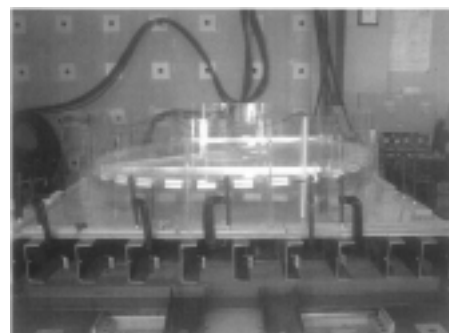
ここに、dはタンク内径、Hは液位である。

図－2に示すように、スロッシング現象を質量Mの質点とばね定数Kのばねによるばね－質点系モデルに置換すると、Tは式(2)で与えられ、質量mの質点とばね定数 k_m のばねによる抑制装置を設置することにより、固有周期は T_1 に誘導される（ $T > T_1$ ）。このとき T_1 は式(3)で表される。実験においてはスロッシングを最も顕著に発生させるため、主に T_1 を用いて入力振動の諸元を設定した。

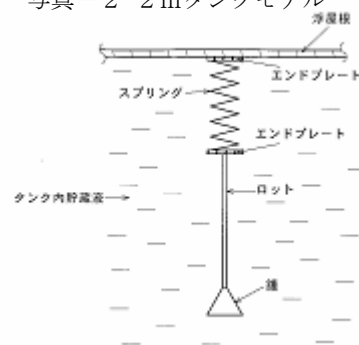
$$T = 2\pi \sqrt{\frac{M}{K}} \dots \text{式(2)}, \quad T_1 = 2\pi \sqrt{\frac{M}{K + k_m}} \dots \text{式(3)}$$



写真－1 56cmタンクモデル



写真－2 2mタンクモデル



図－1 スロッシング抑制装置の概要

キーワード 長周期地震動、共振、スロッシング、ばね－質点系、固有周期

連絡先 〒740-0044 山口県岩国市大字通津2396 勝井建設（株） TEL0827-38-1231、FAX0827-38-1249

2) 実験結果

① 56cm タンクモデルでの実験（その1）

本抑制装置の妥当性の判定を行うため、浮屋根のみ、錘のみ、ばね一錘の各々の構成について加振した。入力諸元は「装置に対して水平正横方向より入力、振幅 2.5cm、周波数 1.18Hz、ばね定数 0.0144kg/mm、タンクの液位 15.0cm」とした。結果は図-3 に示すとおり、浮屋根のみの構成に対して錘を加えることで最大 62%、ばね一錘の抑制機構を加えることで最大 78%の減衰効果を示し（いずれも質量 $m=2,000\text{ g}=250\text{ g}\times\text{片側}4\text{ 組}$ 、錘質量／内容液量比=54.2%）、装置の妥当性が認められた。

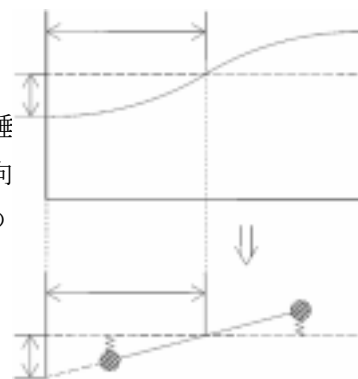


図-2 ばね一質点系への置換

② 56cm タンクモデルでの実験（その2）

抑制装置の軽量化のため、錘の形状抵抗に質量による効果の一部を転化させることを試みた。入力諸元は（その1）と同様である。写真-3 に示す抵抗を考慮した錘を用いたところ、図-3 に示すとおり、質量 $m=400\text{ g}=50\text{ g}\times\text{片側}4\text{ 組}$ （錘質量／内容液量比=10.8%）にて 64%の減衰効果を示し、軽量化の効果が確認された。

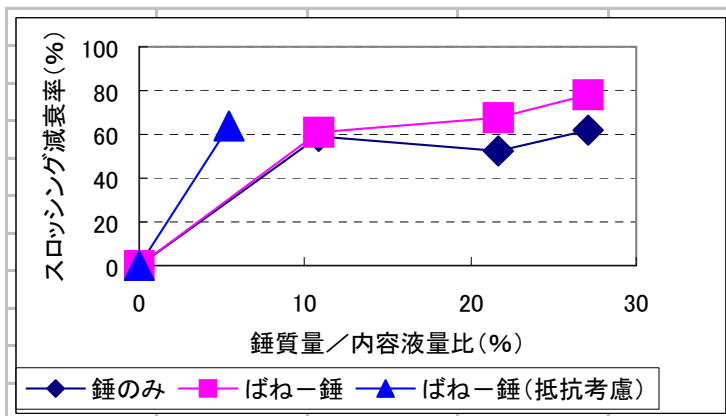


図-3 56cm タンクモデルにおける抑制装置の効果

③ 2m タンクモデルでの実験

実際のタンクは最大直径 100m にもなるため、直径 2m のタンクモデルにより、56cm タンクモデルの実験結果を検証した。入力諸元は「装置に対して水平横方向より入力、振幅 0.4cm、周波数 0.48Hz、ばね定数 0.0073kg/mm、タンクの液位 30.0cm」とした。結果は図-4 に示すとおり、質量 $m=5,120\text{ g}=160\text{ g}\times\text{片側}16\text{ 組}$ （錘質量／内容液量比=0.6%）にて 64%と、②とほぼ同様の減衰効果を確認し、装置のより大規模なモデルへの適用が可能であると認められた。

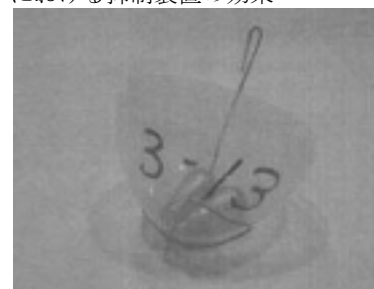


写真-3 抵抗を考慮した錘の一例

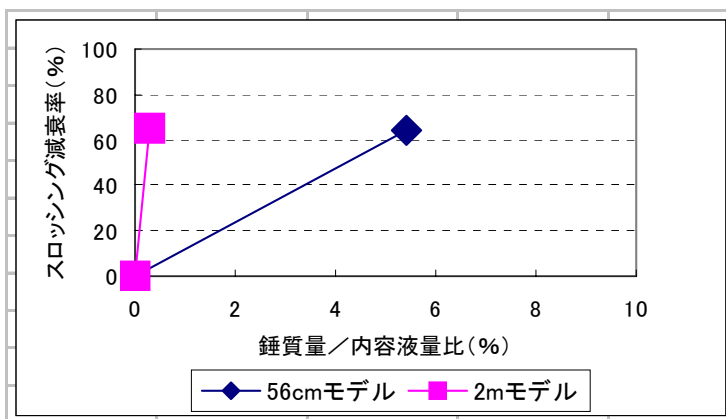


図-4 56cm タンクモデルと 2m タンクモデルの抑制効果

4. まとめ

- 1) ばね一質点系モデルを利用した装置により、スロッシングの抑制が可能である。
- 2) 錘の形状を、水中での抵抗を考慮したものとするにより、装置の軽量化が可能であることが確かめられた。
- 3) 56cm モデルと 2m モデルの試験結果に相似性が確かめられ、実タンクへの適用にあたって本実験結果を適用することが可能であると推測された。

5. 今後の課題

今後の研究においては装置の一層の軽量化、実タンクでの試験的運用、抑制装置の諸元決定に関する定式化などに重点を置く必要がある。

参考文献

- 1) 山田善一 他：タンクのスロッシングおよび地震記象からみた長周期地震動の特徴，土木学会論文集，1985 年 10 月