

浮き屋根を有する円筒タンクのスロッシング波高低減法について

九州産業大学 フェロー 水田洋司 九州工業大学名誉教授 正会員 高西照彦
新日鐵エンジニアリング(株) 正会員 川口周作 九州産業大学 学生会員○松浦一郎

1. 序論

十勝沖地震では苫小牧の石油備蓄タンクの浮き屋根がスロッシングによって破壊され、二次災害としてタンクの火災が発生した。スロッシング発生の原因は震源から 200km 離れた苫小牧地区で発生した長周期地震動がタンク内容液の固有振動数と共振したためと考えられる。日本の大都市周辺の石油備蓄タンクは苫小牧の場合と似た環境にあり、長周期地震動に対する大型貯槽の耐震性を向上させることは重要な課題である。浮き屋根を有する円筒タンクのスロッシング制御を目的として、浮き屋根円周へのゴム取り付けやタンク内部にバフプレートを設置して減衰を高める方法等¹⁾が提案されている。しかし、実機化で効果的な成果を挙げている方法はなく、実用的で経済的なスロッシング制御法が求められている。本論文では円筒タンク模型実験で得られたスロッシング特性と浮き屋根に振り子を吊り下げてスロッシング波高を低減する方法について述べている。低減効果は浮き屋根を有する円筒タンク模型の振動台実験で調べた。まず、スロッシング時の波高・動水圧を調べ、次に波高低減法を用いた時の波高・動水圧を計測し、両者を比較検討した。

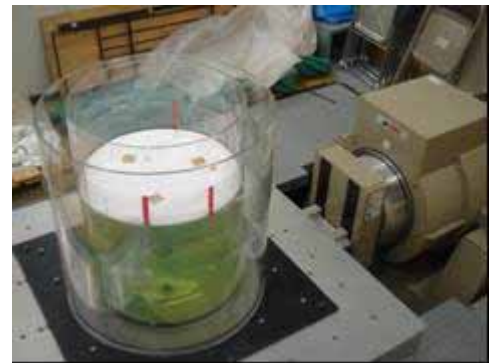


写真-1 タンク模型と振動台

2. 円筒タンク模型と波高低減法

実験に使用した円筒タンク模型（以下模型）はアクリル樹脂製で外径 60cm、高さ 80cm、厚さ 1cm、浮き屋根は厚さ 5mm の発泡スチロールである。模型と振動台（IMV社：DS-2000-15L）を写真-1 に示す。模型は振動台にボルトとナットで固定されている²⁾。低減法に用いる振り子はφ50、40、30、20mmの鋼球で、紡績糸を用いて図-1 の様に吊り下げた。

3. 振動台実験

実験では、タンクの高さ 50cm まで内容液を入れて振動台加振を行い、波高と動水圧を計測した。波高は 5mm 間隔の計測メジャーから読み取り、動水圧は加振方向の模型壁面に設置した水圧計（PSS-02KDF、共和電業）を用いて計測した。図-2 に水圧計の設置位置を示す。振動台は 0.01Hz 刻みの正弦波加振によるスイープ加振とスポット加振を組み合わせで稼働させ、波高・動水圧の共振曲線から共振振動数を読み取った。加振加速度は、共振時の水面挙動が線形性を保つように 2gal とした。

4. スロッシング波高低減効果

スロッシング波高低減効果と比較するために低減法を用いない場合（以下、浮き屋根と表示）の波高と動水圧を計測し、それらの共振曲線を図-3 に図示している。図-4 には振り子の質量をパラメータとして波高と動水圧の共振曲線を、図

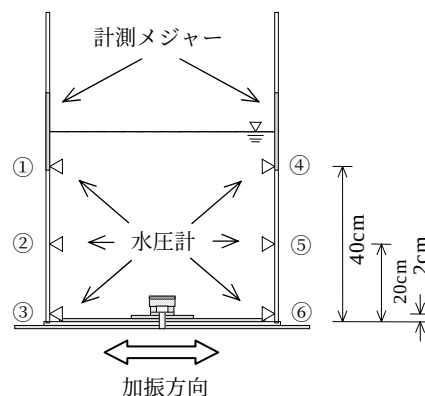


図-2 水圧計設置位置

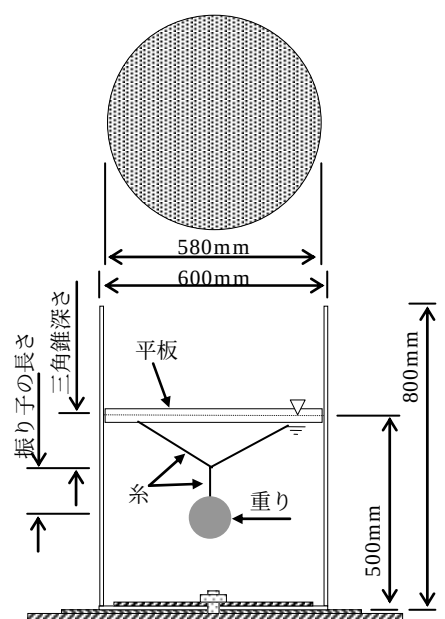


図-1 浮き屋根と振り子

ー5には錘に $\phi 50$ の鋼球を用いた振り子の長さをパラメータとして波高と動水圧の共振曲線を図示している．図-6には錘 $\phi 50$ 鋼球の振り子長さをパラメータにした動水圧分布を，図-7には錘 $\phi 50$ 鋼球の振り子長ささと最大波高の関係を図示している．

図-3，4から，浮き屋根に振り子を取り付けることによりスロッシング波高と動水圧を低減できることが理解できる．図-4から，振り子の質量が大きくなるに従い波高と動水圧は低下することが読み取れる．このとき，振り子を吊す糸の長さは一定であるが，振り子の径が小さくなると振り子重心までの長さは短くなるため，この図では質量と振り子の長さの効果が同時に表れている．図-4，5から，波高と動水圧の共振曲線は類似しており，最大波高を示す振動数で最大動水圧が生じていることが分かる．図-5では，振り子長さが11.9cmの波高と動水圧や10.25cmの動水圧には2自由度系動吸振器の特性が伺える．

図-6は加振方向のタンク壁面での動水圧分布を示しており，壁面の高さが高くなる（水深が浅くなる）ほど，動水圧は大きくなっている．図-7から，錘 $\phi 50$ 鋼球に対する最適な振り子長さは13.1cmと読み取れる．

5. 結論

浮き屋根を有する円筒タンクの模型実験から以下のことが明らかになった．

- ① 本論文で提案した低減法でスロッシング時の波高と動水圧を低減できる．
- ② スロッシング波高低減効果の高い振り子の質量と長さの組み合わせが存在する．
- ③ 浮き屋根に取り付けた振り子は動吸振器の役目を果たしており，スロッシング低減法として活用可能である．

参考文献

- 1) 坂井藤一：大型タンクのスロッシングに関する耐震・制振・免振等技術の現状と展望，大型タンクのスロッシングに関する耐震・制振・免振等技術のミニシンポジウム講演論文集，pp.1～9，2005年7月．
- 2) 川口，水田，荒巻，北原：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年3月．

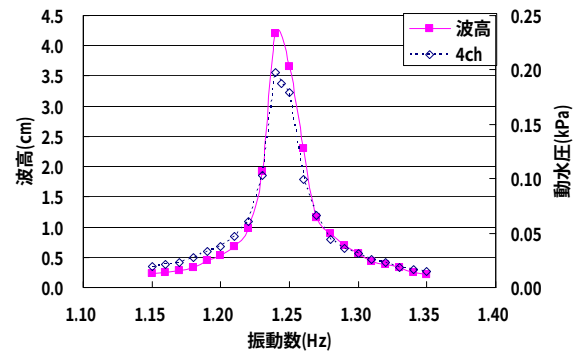
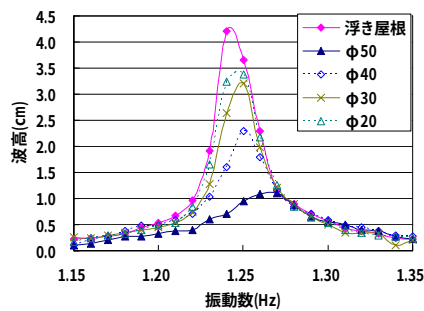
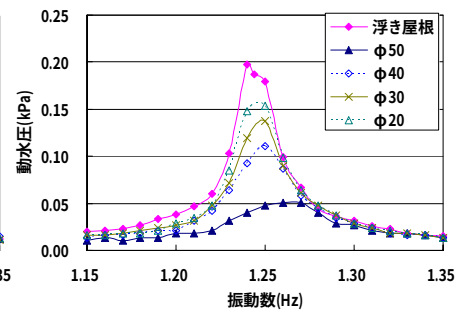


図-3 波高と動水圧の共振曲線

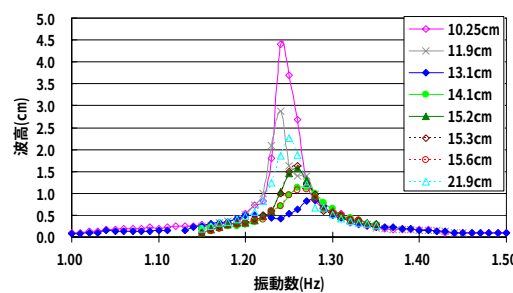


(a) 波高

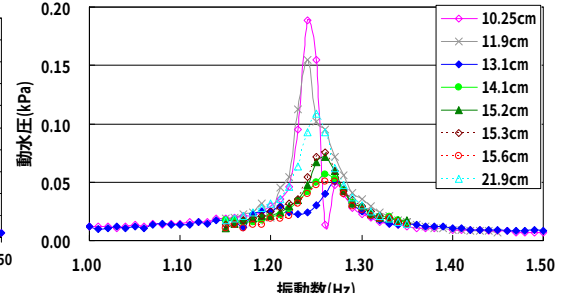


(b) 動水圧

図-4 振り子の質量（振り子長さ=14.6～15.6cm）



(a) 波高



(b) 動水圧

図-5 振り子の長さ（錘 $\phi 50$ ）

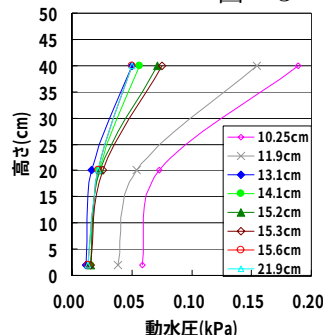


図-6 動水圧分布（錘 $\phi 50$ ）

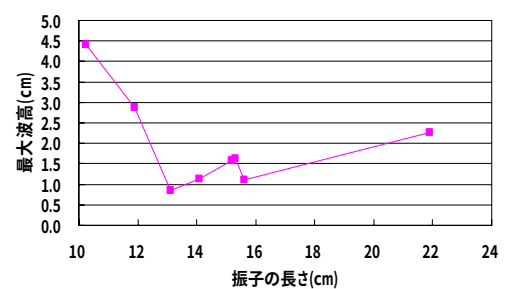


図-7 錘 $\phi 50$ 振り子長ささと波高