

浮き屋根を設置した円筒タンク内容液のスロッシング波高低減法

九州産業大学 フェロー 水田洋司 クラウンコンサルtant(株) ○正会員 松浦一郎
新日鐵エンジニアリング(株) 正会員 川口周作 九工大名誉教授 正会員 高西照彦

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励起された長周期地震動とタンク内容液固有振動数の共振と考えられる。日本の大都市周辺の石油備蓄タンクは苫小牧と似た地盤環境にあり、長周期地震動に対する大型貯槽の耐震性向上は重要な課題である。石油備蓄タンク内容液のスロッシング抑制を目的として、浮き屋根円周へのゴム取り付けやタンク内部へのバフフルプレート設置により、減衰を高める方法等が提案されている。しかし、実機化で成果を挙げている方法は見当たらない。本論文では、浮き屋根を設置した円筒タンクの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型の動吸振器を取り付け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。まず、スロッシング時の波高・動水圧を調べた。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。

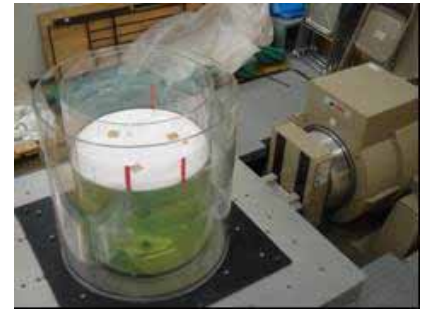


写真-1 実験模型と振動台

2. 円筒タンク模型

振動台実験に用いた円筒タンク模型は厚さ 1cm、外径 60cm、高さ 80cm で、アクリル樹脂製である。内容液は水で、タンク底面から高さ 50cm の所まで注入しており、波高計測時の水面が明確になるよう、入浴剤で着色している。浮き屋根は直径 58cm、厚さ 1cm の、発泡スチロールで製作した。タンク模型と振動台 (IMV 社: DS-2000-15L)、及び浮き屋根 (白色) を写真-1 に示す。写真-1 では 2 層のタンクになっているが、内層が実験で使用する模型であり、外槽は水漏れ防止用として設置している。模型の底部を振動台にボルトとナットで固定し、接着面には水漏れ防止用のゴムパッキングを装着している。波高はタンク模型の高さ 40cm ~ 60cm に 5mm 間隔でラインを引いた計測用メジャーで計測し、動水圧は水圧計 (共和電業: PSS-02KDF) で計測している。計測用メジャー及び水圧計の設置位置を図-1 に示す。

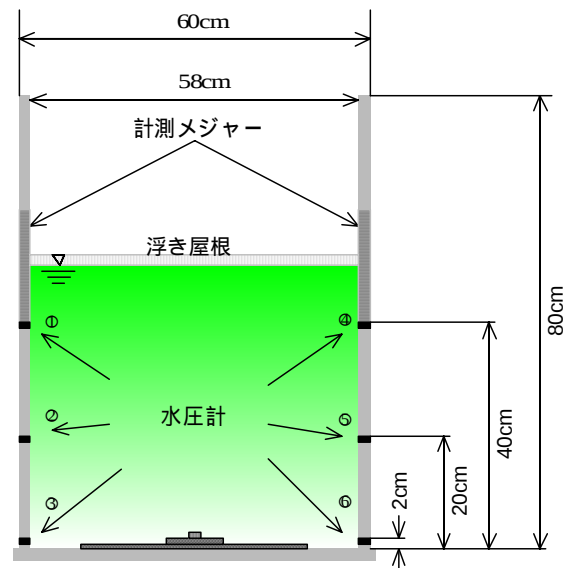


図-1 メジャーと水圧計

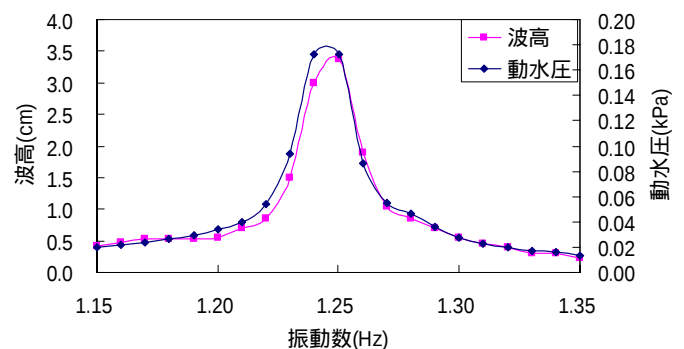


図-2 波高・動水圧共振曲線

3. 円筒タンク内容液のスロッシング

タンク模型内に着色した水を高さ 50cm まで入れ、浮き屋根を設置した状態 (以下屋根のみ) で 1.15Hz ~ 1.35Hz の振動数範囲を 0.01Hz 刻みでスイープ加振、スポット加振の実験を行った。加振加速度はスロッシング時の水面が線形性を保つように 2gal とし、正弦波加振をした。その実験結果を図-2 に示す。動水圧は水圧計とで計測された値の平均値である。1.25Hz で最大波高 3.38cm、最大動水圧 0.173kPa が得られた。

キーワード：円筒タンク、浮き屋根、スロッシング、動吸振器、波高低減、振り子

連絡先：〒813-8503 福岡市東区松香台 2-3-1 九州産業大学工学部都市基盤デザイン工学科 092(673)5671

4. スロッシング波高低減効果

浮き屋根を設置した円筒タンク内容液のスロッシング波高を低減させる目的で、浮き屋根の下に振り子を取り付けた。これは振り子の水中振動で浮き屋根のエネルギーを吸収する動吸振器として活用するためである。振り子の設置状況を図-3に示す。振り子の糸は紡績糸(以下、糸と記す)とし、浮き屋根の中心から15cmの所に120°間隔で3ヶ所に糸を取り付けた。3本の糸を中心で結び、結んだ点から錘の中心までの長さを振り子長さとした。この動吸振器では、振り子の長さや錘の質量によって抑制するスロッシングの周期や波高が変化すると推測され、それらの影響を確かめる実験を実施した。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-5には錘に $\phi 50$ mm 鋼球を用いた場合の振り子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。

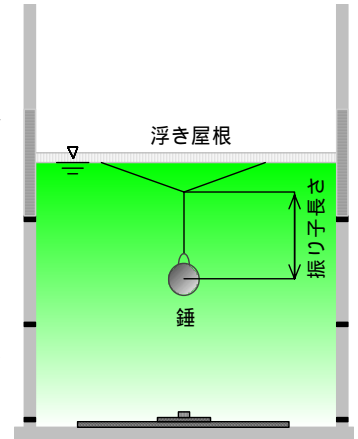
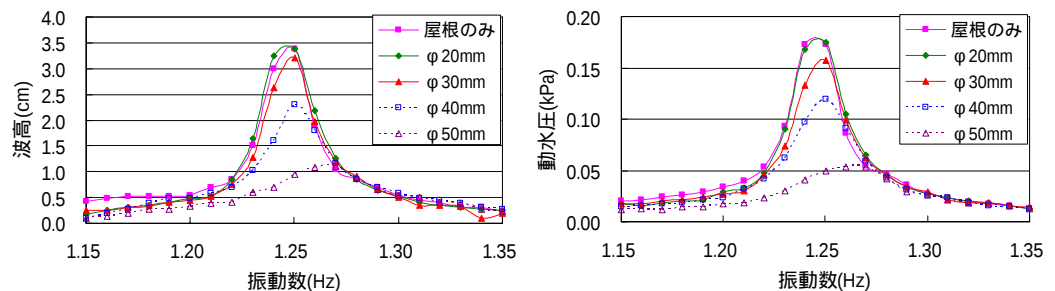


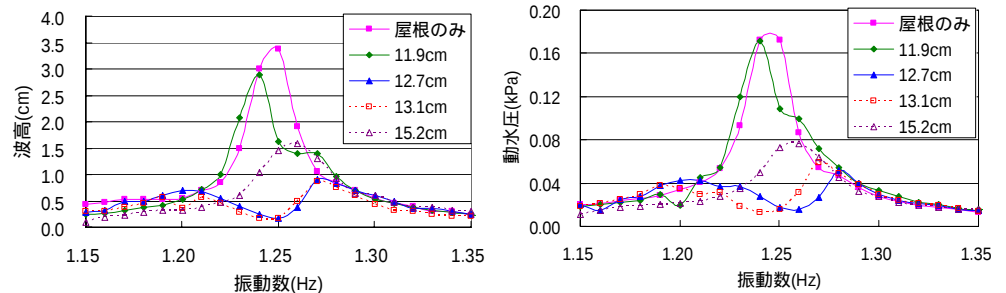
図-3 振り子設置状況

図-6には錘 $\phi 50$ mm 鋼球の振り子長さをパラメータとして加振方向のタンク壁面での動水圧分布を、図-7には錘 $\phi 50$ mm 鋼球の振り子長さと最大波高、最大動水圧の関係を図示している。



(a) 波高

図-4 振り子の質量 (振り子長さ = 14.6 ~ 15.6 cm)



(a) 波高

(b) 動水圧

図-5 振り子長さ (錘 $\phi 50$ mm)

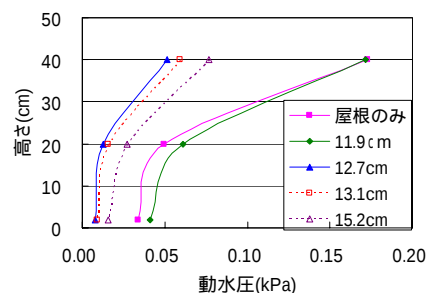


図-6 壁面動水圧分布

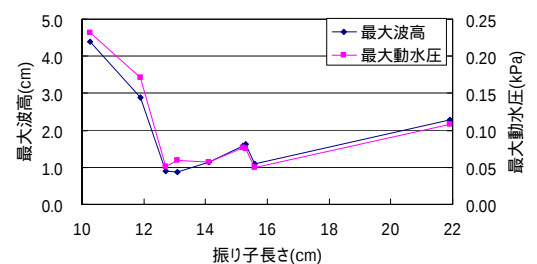


図-7 振り子長さと波高・動水圧

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。また、図-5の振り子長さ12.7cmと13.1cmの波高・動水圧には2自由度系動吸振器の特徴が伺える。図-6の動水圧分布から、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 $\phi 50$ mm 鋼球に対する最適な振り子長さは13.1cm前後と読み取れる。

5. 結論

浮き屋根を設置した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。

本論文で提案した波高低減法でスロッシング時の波高と動水圧を低減できる。

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。

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。