

実タンクでのスロッシング制振装置の実証実験

(株)十川ゴム 正会員 ○井田剛史 中央大学 正会員 平野廣和
中央大学 正会員 佐藤尚次 中井商工(株) 正会員 連重俊

1. はじめに

やや長周期の地震により石油タンク貯蔵液のスロッシングが発生し、浮屋根の沈没、破壊、そして最悪の場合、火災発生といった問題が生じている。本研究では、スロッシングによる浮屋根の損傷を防ぎ、液面揺動を抑えるためにゴム製減衰材（以下、バッファと呼ぶ。）を検討してきた。そのスロッシング減衰効果を実証するため、平成18年と19年の2度にわたり、直径約15mの実機タンク（1600KL）での振動実験を行った。平成18年度の実験では、造波方法の問題から、浮屋根とタンクに設置された構造物との接触による理由から、バッファ有無でのスロッシング減衰を比較評価するには課題を残した。しかしながら、平成19年度では、造波装置および造波方法を改善することで、実タンク実験でのバッファのスロッシング減衰効果を評価実証することができたのでここに報告する。

2. タンク及びバッファモデル

実験モデルは、写真1に示す直径約15m、高さ約10m、1600KLのインナーフロートデッキ（シングルデッキ）で、タンク内に海水を水深4mまで充填した。起振方法は、図1に示すような造波装置をタンク底部に設置し、エアシリンダーを電磁弁およびスピードコントローラーを用いて制御することで、1次のスロッシング固有周波数に同調させて造波板を鉛直方向に稼動させた。

バッファモデルは、本実験タンクの浮屋根質量と速度応答スペクトルから浮屋根がタンク側面へ衝突する際のエネルギーを算出し、そのエネルギーを吸収できるポテンシャルエネルギーを有し、かつスロッシングの減衰効果を得るために、高減衰性ゴム配合および形状設計を行った。図2にバッファの断面形状を示しておく。なお、このバッファを図3に示すようにポンツーン外周部に8本設置した。

（1）**実験方法** タンク底部に設置した造波装置での起振条件を表1に示す。なお、起振条件に回転軸バッファの有無とあるが、これは波高の増大に伴って、浮屋根が回転して梯子等の構造物と衝突するために評価が難しくなるので、回転軸にバッファを設置して、その回転運動を抑制しバッファ有無での減衰評価を可能にするためのものである。

表1. 起振条件（起振周波数1次モード0.21Hz）

パターン	造波回数（回）	回転軸バッファの有無
T-1	40	あり
T-2	60	
T-3	40	なし

表1の起振条件にてスロッシングが発生させた時の浮屋根上に生じる加速度、変位（波高）およびひずみを計測した。計測箇所は、浮屋根の起振軸上の0.3R、0.6Rおよび0.9Rの位置に加速度計およびひずみゲージを、さらに浮屋根の起振軸および起振軸直角方向の端部に変位計を取付け、起振時の各位置における水平及び鉛直方向の加速度、ひずみおよび変位を測定した。そして、浮屋根の振動減衰曲線からバッファ有無による減衰性能の比較評価を行なった。



写真1. 1600KL インナーフロートタンク

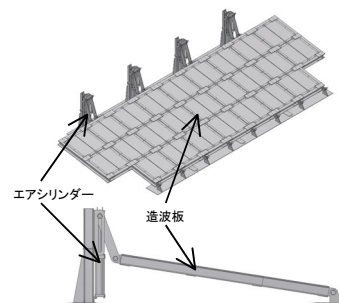


図1. タンク内に設置した造波装置

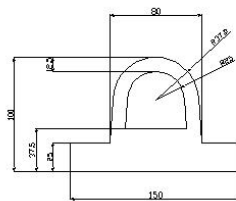


図2. バッファ（ダンパー）形状

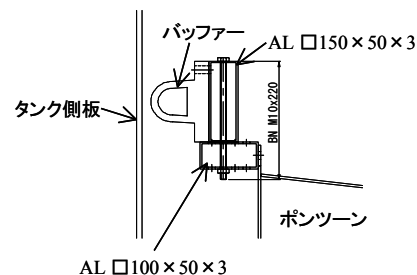


図3. バッファの取付け

3. 結果

パターン T-1 におけるバッファ有無での浮屋根変位量を図 4 に示す。バッファなしに対し、バッファを設置することで浮屋根の変位が 30%程度に抑制されていることがわかる。つまり、バッファによってスロッシング時の浮屋根揺動を抑制する効果が認められる。次に波高をさらに大きくしたパターン T-3 を図 5 に示す。この場合、バッファなしにおいて、途中変位が急激に減少する部分が確認された。これは波高が増大することによって浮屋根がタンク側板等と衝突し、浮屋根の応答変位が乱れることを示している。この現象については、図 6 に示した加速度波形において急激に加速度が増大していることから確認できる。一方で、バッファを設置した場合には、浮屋根がタンク側板等と衝突することなく、浮屋根の応答変位と加速度を抑制していることがわかる。

次に波高 5cm と 20cm レベルにおけるバッファ有無の減衰定数を表 2 に示す。なお、本タンクの減衰の傾向を確認するため、平成 18 年と 19 年の双方の結果を示す。バッファなしを確認すると、波高 5cm レベルでは減衰定数が 0.8%であるが、波高 20cm レベルでは、1.95%と 0.37%となり大きく乖離していることがわかる。この理由として、平成 18 年の実験では、起振軸方向に梯子が設置されており、波高が増大に伴ってその梯子と衝突し、強制的に波高が抑制されて減衰が大きくなる。それに対し、平成 19 年の実験では、梯子のない方向を起振軸としたことで、波高 20cm レベルで浮屋根が他の構造物と衝突しないために減衰定数が小さくなったと考えられる。これらは本タンク特有の傾向と言える。この時の減衰定数 0.37%は、消防研究センターが実施した 3 万 KL クラスでの実験で得た減衰定数 (0.5%) とほぼ一致する。一方で、バッファを設置した場合、波高レベルに関係なく 1.7%前後の減衰定数を有することがわかる。つまり、浮屋根の運動エネルギーに応じてバッファが変形し、そのエネルギー吸収することでスロッシングを減衰させる効果が得られたものと考える。

4. まとめ

本研究により、実タンクでバッファのスロッシング減衰効果を確認することができた。さらに、バッファで浮屋根と他の構造物との衝突を防ぐことも確認できた。しかし、本タンクをはじめ浮屋根式タンクには多数の種類が存在する。そのため、タンクの各仕様に基づいた浮屋根の強度評価を実施し、浮屋根に生じる断面力を低減する最適なバッファ設計を行い、浮屋根式タンクのスロッシング減衰装置として実用化を図ることが今後の課題と考えている。

参考文献

1) Housner, G. W. : Dynamic Pressure on Accelerated Fluid Containers, Bull. Seism. Soc. Am, Vol. 47, 1957.
2) やや長周期地震動に係る危険物の技術基準に対応した合理的改修方法の開発に関する調査報告書 (平成19年3月), 総務省消防庁, 20073.

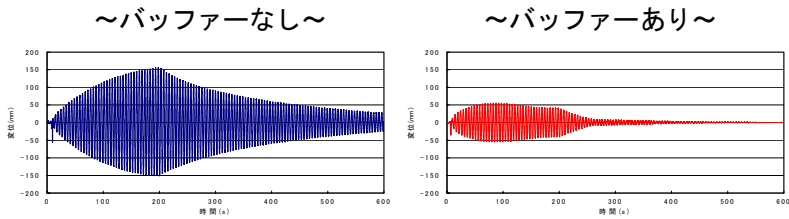


図 4 T-1 における浮屋根応答変位

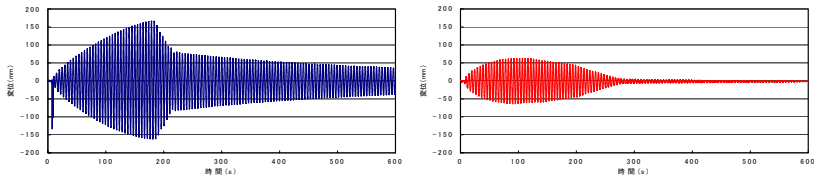


図 5 T-3 における浮屋根応答変位

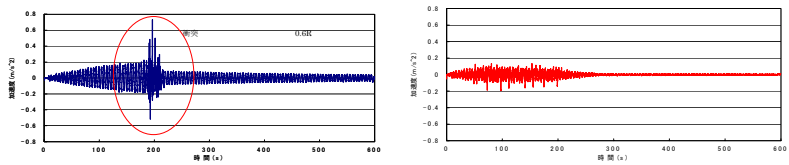


図 6 T-3 における浮屋根上の応答加速度 (0.6R)

表 2. 各パターンにおける減衰定数

パターン	減衰定数	
	波高レベル5cm	波高レベル20cm
バッファなし	0.0081	0.0195(H18実験値)
		0.0037(H19実験値)
バッファあり	0.0160	0.0172 (H18実験値)
		0.0174(H19実験値)