

浮屋根式タンクのスロッシング減衰に関する検討実験

(株)十川ゴム 正会員 ○井田剛史 中井商工(株) 正会員 連 重俊 中央大学 正会員 平野廣和
(株)十川ゴム 非会員 坂東 譲

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。これらの対策として、浮屋根の外周部にゴム製の減衰材を設置することで、スロッシングの抑制かつ浮屋根破壊を防ぐことを目的として研究を進めてきた。本報では、4m タンク（約 1/10 スケールレベル）での振動実験により、減衰材モデルの制振効果について評価を行なった。

2.モデル実験による検討 実験モデルは、写真 1 のような直径 4m、高さ 2.5mの円筒状鋼製タンクを製作し、これに水深 2m まで水を充填し、水平方向に移動する架台に設置した。また、水面上には、直径 3.95m、厚み 4.5mm の中空樹脂シートの外周に L40 アングルを取付けた浮屋根モデル（写真 2）を浮遊させ、実際の貯蔵タンクをモデル化した。

（1）実験方法

実験は、タンクモデルを設置した架台を、大型油圧ジャッキを用いて、水平方向から正弦波（固有周波数 0.46Hz）及び苫小牧で発生した地震と同様の水平波の起振を行った。但し、本実験で与えた地震波の加速度振幅は、安全のため 60% レベルとした。また、地震波の周波数域を本タンクモデルのスロッシング固有周波数域（0.46Hz 近辺）に調整を行なった。起振条件を表 1 に示す。

表 1．起振条件

入力波	条件
地震波	苫小牧地震波（60%加速度振幅） ＊固有周波数域補正
正弦波	起振周波数：0.46Hz 起振振幅：変位制御 ±3mm（5 秒）⇒±5mm（10 秒）⇒±3mm（5 秒）

なお、本タンクモデルの固有周波数 f は、次式にて算出し、実際にその前後周波数でも起振し、発生する波高から確認を行なった。その結果を表 2 に示す。

$$f = 1/2 \pi * (g/R * 1.814 * \tan H(1.814 * h/R)) ^{1/2}$$
$$= 0.46 \text{ Hz}$$

R ：タンク半径 (m) h ：水深 (m)

表 2．スロッシング固有周波数確認結果

起振周波数 (Hz)	起振条件	発生した波高 (mm)
0.46Hz	起振振幅 ±3mm	±75
0.40Hz	起振時間 3秒	±40
0.50Hz		±50

結果、本実験モデルの固有周波数は 0.46Hz であることが確認できた。

（2）スロッシングの減衰について

スロッシングを抑える制振材として、図 1 のバッファー（ゴム）を写真 2 の浮屋根モデル外周部に取付けた。動揺する浮屋根がタンク側面と衝突するエネルギーをバッファーで吸収、減衰させ、スロッシングによる液面の動揺を抑える制振方法であり、その制振効果を本実験で確認した。また、浮屋根とタンク側面間隙からの液漏れシールとして、ワイパーシールも同様に取付けた。



写真 1．タンクモデル振動実験

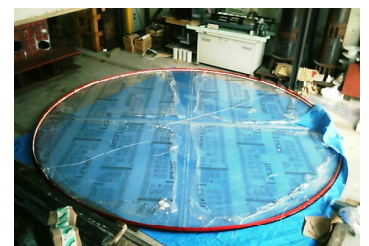


写真 2．浮屋根モデル

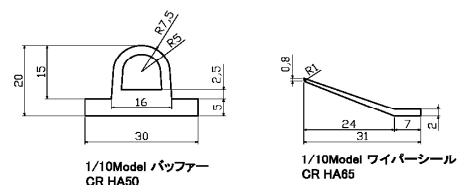


図 1. バッファー（制振材）及びシール材

(3) 計測方法について

計測方法としては、浮屋根の 4 半円点上に加速度計を取付け、起振時の各位置における水平及び鉛直方向の加速度を測定した。また、歪みゲージも浮屋根の 4 半円点及び中心部に貼付け、起振時の歪みを測定した。そして、浮屋根の振動減衰曲線からバッファ（制振材）の有無による減衰性能の比較評価を行った。

3.実験結果 各起振条件での発生波高を表 3 に、浮屋根鉛直方向の加速度減衰曲線を図 2 及び図 3 に示す。

表 3.スロッシング波高

波形	制振材	波高 (mm)
地震波	あり	±170
	なし	±260
正弦波	あり	±110
	なし	±180

図 2 及び図 3 の減衰曲線から、地震波及び正弦波共に制振材を取付けることで、浮屋根の加速度減衰が増大していることがわかる。また表 3 から、制振材によって、発生する波高も 60%程度に低減されていることが確認できた。

次に制振材を取付けた時のタンク側面との接触による反力で、浮屋根に支障をきたす可能性がないかを検証した。タンク浮屋根の歪み曲線を図 4 に示す。図 4 左側が浮屋根端部、右側が中心部の歪みで、端部は 1 次モード (0.46Hz)、中心部は 2 次モード (0.92Hz) に対応して歪みが生じている。また、中心部の歪みでは浮屋根とタンク側面の接触による反力の影響も考えられるが、主として波面による歪みが支配的と考えられる。ただ、その歪みレベルは、浮屋根材の降伏点の 5 分の 1 程度であり、設定した制振材のパネ剛性が過剰なものでないと判断できる。

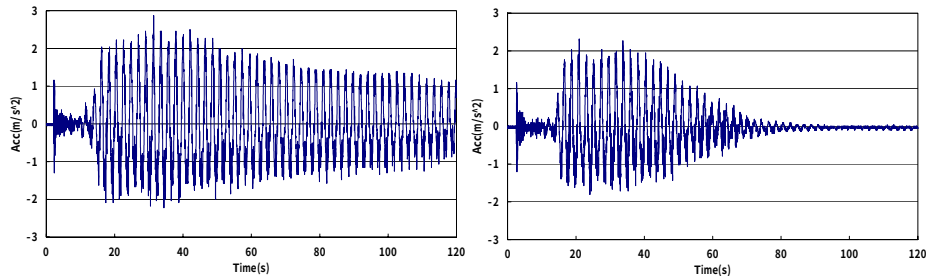


図 2．地震波での浮屋根の加速度減衰曲線（左：制振材なし 右：制振材あり）

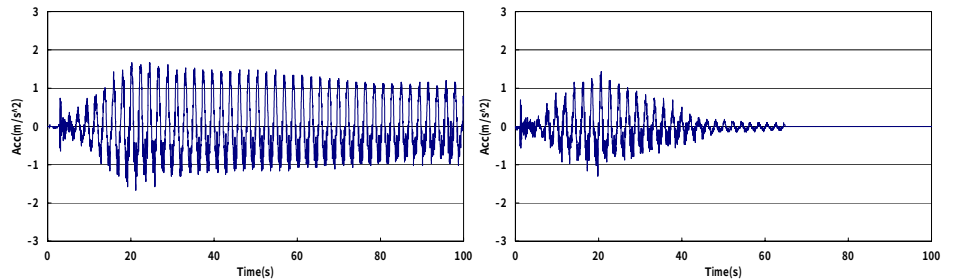


図 3．正弦波での浮屋根の加速度減衰曲線（左：制振材なし 右：制振材あり）

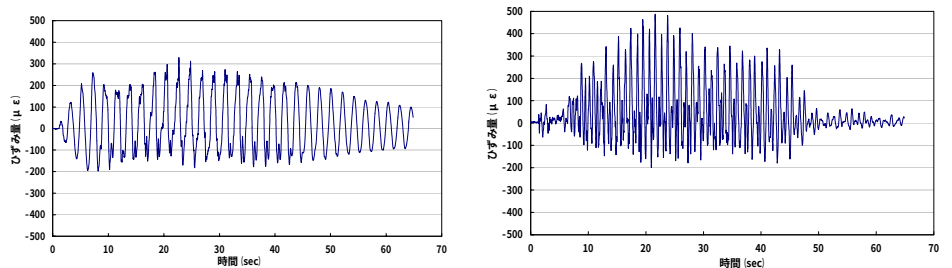


図 4．浮屋根上に発生する歪み（条件：正弦波、制振材あり）

左図：浮屋根中心部、右図：浮屋根端部

4.まとめ 本研究より、バッファ（制振材）によって、地震時に発生するタンク内貯蔵液のスロッシングを抑制する効果が認められ、貯蔵タンクの地震対策において有用な工法としての所見を得たものとする。今後、相似則の問題や制振材の耐液性、減衰性等の材料特性について、詳細な検討を行う予定である。本研究は、中央大学、中井商工(株)、(株)十川ゴムとの共同研究の一部である。最後に本実験にあたり、愛知工業大学耐震実験センター（同センター長・青木徹彦教授）の協力を得るとともに、貴重な助言を頂いた。ここに感謝の意を表す。

参考文献

- 1) 平成 15 年十勝沖地震北海道災害対策本部発表資料(<http://www.pref.hokkaido.jp/soumu/sm-bsbou/bousai/>)
- 2) タンク火災の原因と再発防止への取組み(<http://www.idemitsu-hokkaido.com/safety/>)