

浮き屋根式タンクのスロッシング減衰装置の施工性に関する検討について

(株)十川ゴム 正会員 ○井田剛史 中央大学 正会員 平野廣和
 中井商工(株) 正会員 連重俊 (株)十川ゴム 正会員 小松領平

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¹⁾。それらの対策として、著者らは浮屋根外周部にバッファーと称するゴム製制振材を設置することで、スロッシング減衰と浮屋根の損傷防止効果があることを提案し、1600KLの実機浮き屋根式タンクでの振動実験で、その効果を確認している²⁾。さらに、本報では、このスロッシング減衰装置として用いるバッファーの動的剛性や熱的挙動とバッファーを取付ける部材の強度確認を行い、浮き屋根式タンクのスロッシング減衰装置としての施工性について検討した。

2. スロッシング減衰装置の施工性評価方法

実験モデルは、図1に示すように実タンクのポンツーン上に設置するモデル（以下、施工モデルとする。）として製作した。実験方法としては、施工モデルを250kNの油圧式アクチュエーターに接続し、設置した反力壁に押し当ててバッファーを圧縮载荷した。その際、図2に示すようにバッファーの圧縮により生じる反力および変位を計測し、さらに施工モデルの変形量も変位計で計測した。

2-1. 実験条件

実験は、施工モデルを油圧式アクチュエーターで水平方向から表1に示す静的および動的（正弦波）条件でバッファーを圧縮载荷した。ここで動的試験において設定した圧縮载荷条件は、特定屋外貯蔵タンクの中で2万KL前後のタンクで想定される1次スロッシングモードの周期が5~10s程度であることによる。また、限界耐力試験とは、施工モデルを限界まで圧縮载荷するものである。なお、バッファーは下段のみの場合（パターン1）と上下段ともに設置する場合（パターン2）の2パターンで評価した。

表1. 起振条件

試験項目	圧縮载荷条件	圧縮変位量 (mm)	繰り返し回数
静的試験	20 mm/min	0~90	5
動的試験	0.1Hz (周期 10 s)	10、25、50、75	20
	0.2Hz (周期 5 s)		
	0.3Hz (周期 3.3 s)		
	0.5Hz (周期 2 s)		
衝突試験	衝突速度 500mm/s	50、65、75	5
限界耐力	20 mm/min	0~限界まで	1

2-2. 実験評価項目

2-1の実験条件で施工モデルの施工性評価を以下にて行った。

① バッファーの動的剛性変化

一般にゴム部材は周波数および変位量に応じて剛性が変化するため、各周期における過度の剛性変化がないかを確認する。

② バッファーの変形による温度変化

浮き屋根式タンクでは通常原油などの石油類が貯蔵されており、タンクに設定する構造物で過度の発熱や発火が生じるものの設置は厳禁である。したがって、バッファーは大変形を伴う部材であり、繰り返し変形を受けた場合にゴム部における過度の温度上昇がないことを確認する必要がある、これをサーモグラフィ撮影により確認する。

③ 施工モデルの耐力とポンツーンへの影響

バッファーの変形限界は図1のゴムの中空部がなくなるまでとしている（本モデルでは最大変位 90mm）。この変形限界に対して、施工モデルのH鋼基部に曲げモーメントが生じることで保有耐力を確認する。また、この際ポンツーンに対して与える反力を確認する。

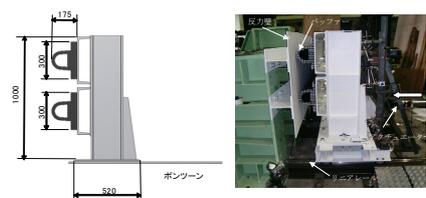


図1 施工モデル

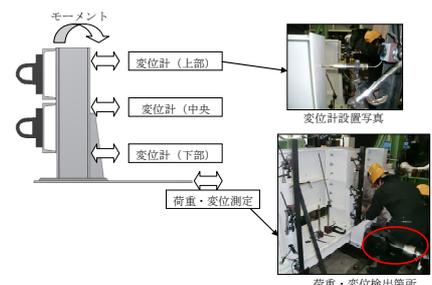


図2 計測条件図

3. 実験結果

3-1. バッファの剛性（静的および動的特性）について

表 2 および図 3 に静的条件, 図 4 に動的条件下でのバッファ剛性を示す. 静的条件では, 変位量が 60mm までは比較的線形な挙動を示すが, 60mm を超えるとハードニングが見られた. 一方で, 動的条件下では, 周波数に対する変化が 9%程度と比較的小さく, 変位に対する変化が約 30%と大きいことがわかる. また, 動的条件下では変位量の増加によってバッファ剛性が減少するが, これはゴムが繰り返し変位を受けることで, 応力緩和するためと考えられる.

3-2. バッファの繰り返し変位による温度変化

図 5 にバッファの繰り返し変位時の温度変化を示す. 最大変位の 75mm と最小変位の 10mm での温度変化を比較すると, 変位 10mm ではほぼ温度変化がないのに対し, 変位 75mm では約 2°C の温度上昇が確認された. しかし, 繰り返し大変形を与えた場合でも過度の発熱は生じなかった.

3-3. 施工モデルの耐力と浮き屋根への影響

図 6 に施工モデルを限界まで圧縮荷重した時の荷重-変位曲線を示す. 図 1 のバッファの限界変位は 90mm としているが, 施工モデルでは変位 120mm で H 形鋼基部でのき裂が発生したことから, バッファ限界変位以上の耐力を保有することを確認した. 一方で, 本構造の許容応力を 140MPa, 本構造に生じる荷重 P を 196kN と仮定する. 本部材に生じるモーメントは, $M=P \times L=196 \times 1000=196,000 \text{ kN} \cdot \text{mm}$ となる. このとき, 部材に生じる曲げ応力は, $\sigma=M/Z=196,000/31,900=61 \text{ MPa}$ となる. ここで, Z は図 1 の H 形鋼の断面係数. ゆえに支柱ベースに生じる応力は許容応力以下であることがわかる. 次に平成 19 年 3 月総務省消防庁発行の「やや長周期地震動に係る危険物施設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検討報告書」に示された「形鋼によるポンツーン補強例 (P164)」と比較する. ここでは, ポンツーンに発生する応力は 220.5MPa 以下と規定されているが, 施工モデルで生じる応力は 61MPa である. 仮にスロッシングによってポンツーンに生じる応力が 240MPa の浮き屋根の場合, バッファはその応力を 1/3 に低減することが可能なため, 施工モデルがポンツーンに与える応力 61MPa とスロッシングで受ける応力 80MPa を合せても 141MPa となり基準内であることがわかる.

4. まとめ

本結果より, 施工モデルが浮き屋根に及ぼす影響, 施工モデルの強度, 動的特性, 温度特性を確認できた. 今後, 本施工モデルを基に実タンクでの設計施工を検討する.

謝辞 本研究を行うに際し, 全国中小企業団体中央会のものづくり補助金(製品実証等支援事業)の給付を受けたことを付記する.

参考文献

- 1) 屋外タンク貯蔵所浮き屋根審査基準検討会報告書, 危険物保安技術協会, 2004.9
- 2) 井田剛史, 平野廣和: 実機タンクでのスロッシング実験による制振装置の検証, 土木学会 H20 年度全国大会, 2008.9

表 2 静的条件におけるバッファ剛性

パターン	算出区間	剛性 (N/mm)	バッファ1本あたりの剛性 (N/mm)
1 (下段のみ)	20-50mm	836.7	418.3
	60-80mm	1755.6	877.8
2 (上下段)	20-50mm	1767.5	883.8
	60-80mm	2309.4	1154.7

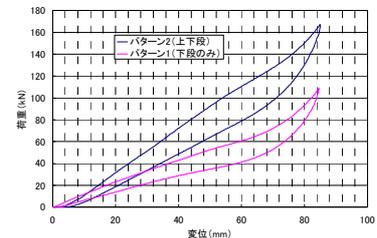


図 3 バッファの荷重-たわみ (変位)

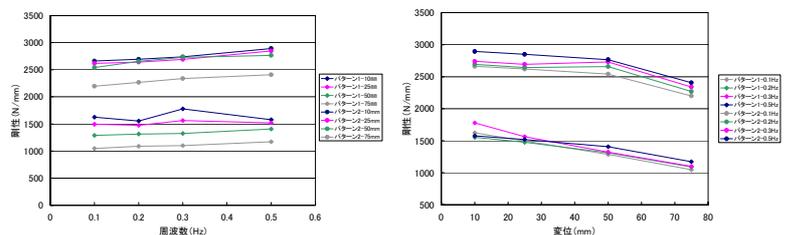


図 4 各動的条件下におけるバッファ剛性

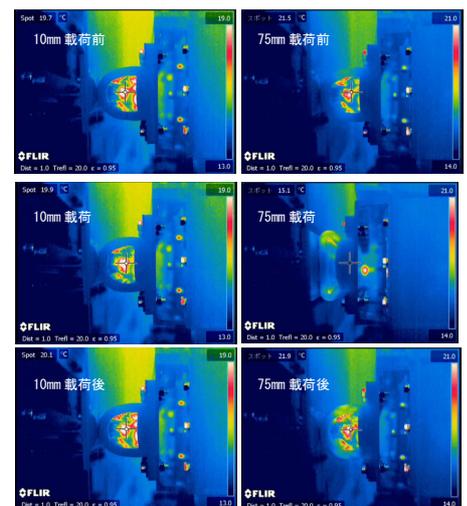


図 5 赤外線サーモグラフィーによる
バッファの温度変化

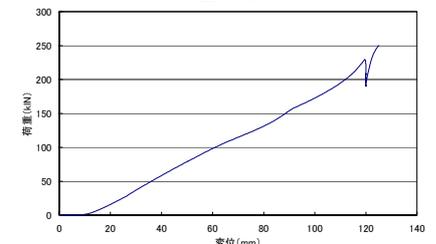


図 6 限界耐力試験でのバッファ取付部材の荷重-変位