

I-542

地上式タンク底面の滑動剥離に関する実験的研究

大阪府立高専 正員・宮脇幸治郎 豊橋技科大 遠藤洋一 関西電力 土井智史

1. はしがき

従来原油タンクのような大型液体貯蔵容器に対する耐震的検討は、理論的実験的研究が精力的に実施され、ある程度の成果を得ている。しかし現在まだ地上式タンクにおいて検討すべき課題は、側板直下に於ける浮き上がりや底面の滑りに対する動的挙動ならびにこれに伴う側板および底板の簡易的な評価である。本研究は地上式タンクの地震時の底面の滑りと浮き上がりの現象に注目して、動的静的の模型実験を実施し、現象を定性的に把握しようとしたもので、ある程度の結果を得た。

2. 実験概要

(1)静的傾斜実験:実験はモデル地盤として傾斜台の板に15mm厚さのゴム版を敷き、これを固定する。モデルタンクは銅(厚さ0.2mm), OHP用フィルム(厚さ107 μ)の材質で半径と高さを種々変えて製作する。このモデルタンクは水平に保った傾斜台に設置する。このとき剥離を明確に観察するためにフィルム製のタンク底面とゴム版との間に水を敷いておく。つぎにタンクに所定の水深まで水を注入し、傾斜台をパワーリフトで静かに傾け、剥離または滑動が生じた傾斜角を記録する。さらに傾斜させて底面の剥離状態が拡大していくのを写真撮影する。銅製タンクは剥離状態を観察できないので、滑動のみ注目した。

(2)動的水平加振実験:センサー(加速度、圧力計など)の接続された銅製タンク(直径30cm、側板高30cm、厚さ0.2mm)は、ゴム版を敷いた振動台に設置する(図-1)。加振方法は最初の5秒まで加速度振幅を漸増させ、所定の振幅に設定し、その後10~15秒間定常な正弦波加振し、記録する。タンク底面に滑動が認められる場合はビデオカメラで撮影し、ディスプレイ上に再生し、移動量を測定する。加速度、圧力は、ミニライターあるいはデータレコーダに記録される。実験は、加振振動数、液深などを変化させて行う。

3. 実験結果および考察

(1)静的実験:図-2は、フィルム製タンクに対する傾斜実験結果において液深Hをタンク半径Rとの比で基準化したものと、底面の剥離・滑動の生じる傾斜角 θ との関係を示したものである。この場合底面に三日月状の剥離が滑動より最初に生じやすい結果となっている。なお剥離の形状は鬼束らの実験結果と似たものとなっていた。つまり底面全体が、滑るよりも側板に作用する液圧による側板の変形の方が生じやすく、側板の変形が底板隅角部に影響し、剥離の領域が一瞬のうちに相当広範囲に広がる。またH/Rが大きくなるほど、剥離の起こる傾斜角が大きくなっているが、これは傾斜したとき貯蔵液体の重心の移動による転倒モーメントの影響である。銅製タンクは剥離状態を観察できないので底面の滑動し始める傾斜角より摩擦係数を求めると、同様に液深の増加に従って0.48~0.56と増加する傾向になっていた。

(2)動的実験:図-3の結果は、側板直下に設置された圧力センサーによる圧力 E_0 を入力加速度 H_0 で基準化した値と振動数 f との関係である。図-4は位相差を考慮せずに算定したタンクの回転角と振動数との関係で示したものである。図-5~7は、タンク底面の滑動による移動量と振動数との関係を示したものであり、それぞれ液深 $H=0$ cmのときの結果、 $H=22.5$ cmのときの結果、経過時間 $t=5$ 秒のときの結果を示す。図-8は $H=22.5$ cmのときの平面的な移動量を時間経過とともに図示したものである。

底面の剥離の有無は底板が完全に膜として扱えず、側板直下付近の地盤モデルの反力分布が集中することになるので、剥離の生じる判定圧力 $p_0=\rho gH$ とはならない。そこで、ここでは圧力波形の特性より、剥離する限界圧力を定めた。圧力波形より、底面には剥離滑動は発生せずに地盤に接触して振動しているタイプ、並進振動の影響が小さく回転振動による剥離が発生して振動しているタイプおよび並進振動が卓越し剥離の小さいタイプとがある。液深22.5cmでの結果について検討してみると、8Hz付近の回転角のピークは液体の1,2,3次のスロッシング振動数に相当し、大きな回転運動を呈するが、剥離は生じていない。

一方、1.5Hz付近の圧力ピークは、液体タンク系の上下動の卓越振動数とタンクのパルジングの1次振動数とに相当し、回転角もピークを示している。1.7Hzより高い振動数域では、圧力ならびに回転角も小さくなっている。液深7.5cmでは、2.1, 3.5Hzにピークを持つが、この領域では図-5の結果からわかるように底面の滑動が卓越した挙動を呈している。

滑動の平面的な移動は、加振方向に対して並進と回転との2種類のモードを生じる。なおこのような現象は、図-9のような解析モデルでは説明できないが、応答倍率についてある程度説明できた。

4. あとがき

本実験は、タンク底面の剝離ならびに滑動現象を模型実験で定性的に調べ、簡単な解析モデルで説明できた。すなわち、底板の剝離は側板の剛性が大きく影響し、動的時にはタンクのパルジングならびのタンク系の上下動の卓越振動数付近で生じやすい。また滑動は、液深の小さい場合大きくその平面的な移動モードも回転が生じやすい。

参考文献

- 1) たとえばClough, D.P.: EERC-77/10, 1977.
- 2) 鬼束ら: 第39回年講I, 1984, pp. 681~682.

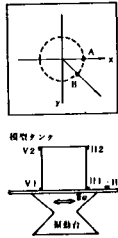


図1 動的加振実験概要

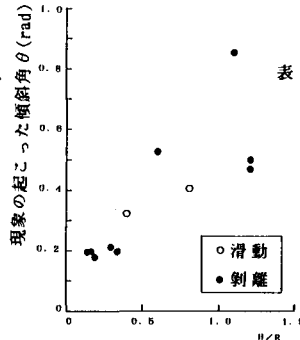


図2 傾斜角とH/Rの関係(フィルム製)

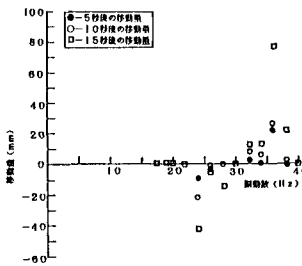


図5 タンク底面の滑動による移動量

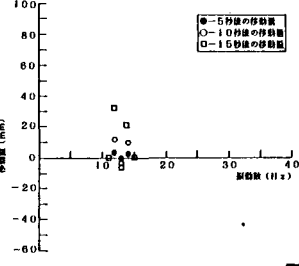


図6 タンク底面の滑動による移動量

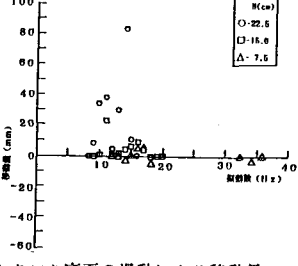


図7 タンク底面の滑動による移動量

(液深 H=0cm, 入力加速度 $\alpha=500\text{gal}$) (液深 H=22.5cm, 入力加速度 $\alpha=500\text{gal}$) 入力加速度 $\alpha=1000\text{gal}$, 経過時間 $t=5\text{sec}$

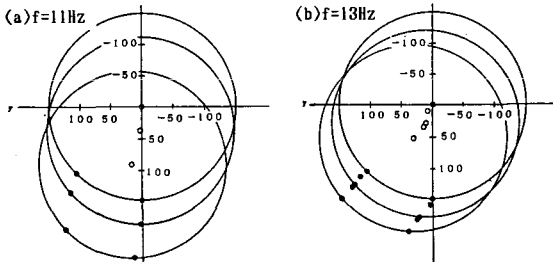


図8 タンク底面の時間的経過に伴う移動量
(H=22.5cm, $\alpha=1000\text{gal}$)

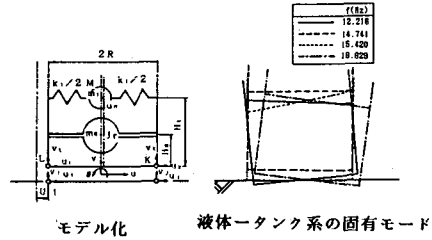


図9

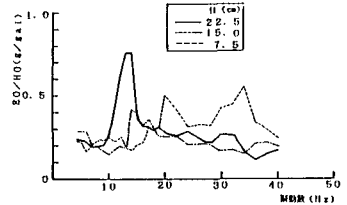


図3 地盤圧力 E_0/H_0 -振動数 f

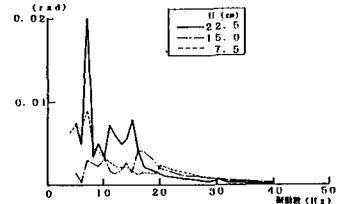


図4 回転角 θ -振動数 f

表1 内液のあるタンクシェルの固有振動数

提案者	$f(\text{Hz})$
Veletosos	11.90
小川、坂井	H=7.5cm 23.45
	15.0cm 13.92
	22.5cm 9.49
Haroun	H=7.5cm 49.64
Ellaithy	15.0cm 26.19
	22.5cm 15.42