定常ロッキング応答時の鋼製平底円筒貯槽の底板引上げ力の把捉

総務省 消防庁 消防研究センター 学生会員 〇吉田 祐一

> 鳥取大学大学院 正会員 谷口 朋代

日本水工設計株式会社 正会員 中島 照浩

1. はじめに

アンカーが施されていない鋼製平底円筒貯槽(タンク)は、水平地震動による転倒モーメントによりロッキング 運動が生じ、これに伴う側板の引張力により、底板の一部が浮上り、側板と底板の接合部(隅角部)に損傷が生じ て貯液が流出する危険性がある.我が国では、1978年宮城県沖地震の際に底板の浮上りが原因とされる重油の大量 (約 68,000kL) 流出が生じている^{1,2)}. この事故以来,国内において同様の事故は発生していないが,近い将来に 発生する可能性の高い南海トラフ地震,首都直下型地震などの大地震に対して,隅角部の強度評価を合理的に行い, 隅角部亀裂による油流出などの事故を未然に防がなければならない.しかし、ロッキング運動に伴う底板の浮上り 変形のメカニズムは十分に解明されているとは言えず、底板浮上りの評価手法には改善の余地が残されている.

本研究では、ロッキング運動に伴う底板浮上り変形のメカニズム解明の糸口をつかむ為、底板浮上り変形時に 底板の隅角部側端部に作用する底板引上げ力を有限要素法(FEM)により数値解析した.

2. 解析方法

FEM による数値解析は, 陽解法により非線形動解析 が可能である LS-DYNA (ver. 7.1.1) を用いて行った. 解析モデルの概観を図-1 に、タンク、内容液および基 礎の諸元を表-1a, 1b に示す. 底板の板厚が底板引上げ 力に与える影響を調べる為,アニュラ部の板厚を変え た2種類の解析モデルにより数値解析を実施した.な お、側板の面外変形(花びら変形)が解析結果に影響 しないよう、剛なスチフナを高さ方向に約 600mm 間隔 で側板最下段から頂部まで配置した. 定常ロッキング 応答時の底板引上げ力を計算する為、バルジング応答

(併進方向の応答)の1次固有周期0.4秒に合わせ、周 期 0.4 秒,振幅 10 m/s²の正弦波を X 軸方向の地動加速 度として基礎に入力した.



図−1 解析モデルの概観

表-1a タンクの諸元

直径 (m)		51.5
高さ (m)		31.44
側板の板厚 (mm)		$16 \sim 54.5$
底板の板厚 (mm)	一般部	6.0
	アニュラ部	32.7 又は 16
縦弾性係数 (アルミニウム合金)(GPa)		70
ポアソン比 (アルミニウム合金)		0.3
密度 (アルミニウム合金)(kg/m ³)		2670

表-1b 内容液および基礎の諸元

液深 (LNG)(m)	28.824
内容液の密度 (LNG) (kg/m ³)	480
内容液の粘性係数 (LNG)	1.0x10 ⁻²⁰
基礎の直径 (m)	71.50
基礎の厚さ (m)	10
基礎の密度 (kg/m ³)	7700
基礎の縦弾性係数 (GPa)	30
基礎のポアソン比	0.3



キーワード 鋼製平底円筒貯槽,定常ロッキング応答,底板浮上り変形,底板引上げ力

連絡先 〒182-8508 東京都調布市深大寺東町 4-35-3 総務省 消防庁 消防研究センター 施設等災害研究室 TEL 0422-44-8429

3. 解析結果

底板浮上り量の解析結果を図-2に示す.この図から, 4~6 秒の間にタンクが定常ロッキング応答しているこ とがわかるので、以後、4~6秒間の解析結果を示す. 解析結果の抽出箇所を図-3a~3cに示す. 底板引上げ力 は、側板から隅角部を介して底板へ伝達する鉛直方向 力であるから、初等構造力学より、これは底板の隅角 部側端部に作用する面外せん断力に等しいと考えるこ とができる(図-3b).また,側板に作用する面内軸力の 抽出に比べ、底板に作用する引上げ力を比較的精確に 得ることができると考え,底板の隅角部側端部に作用 する面外せん断力を底板引上げ力と見做して抽出した.



図-3c B-B 視面

円周方向 0°~180°, 30°刻み, 合計 7 点の位置 (図 -3c)における底板引上げ力の解析結果を図-4に示す. これらの図から、底板引上げ力の発生時に底板の浮上 りが生じていることがわかる. 浮上り量が大きくなる と、これに追従して底板引上げ力は大きくなるが、浮 上り量がある高さを超えてくると、浮上り量が大きく なっているのにも関わらず, 底板引上げ力は一定の値 を維持している. 例えば, 5.0 秒~5.5 秒の間の浮上り 時の底板引上げ力に着目すると、アニュラの板厚が 32.7mm の場合(赤色実線), 浮上り量の約 50mm が閾 値となり, 浮上り量が閾値以上である時, 底板引上げ 力は約 200N/mm で一定値となっている.一方,アニュ ラの板厚が 16mm の場合 (青色実線), 浮上り量の約 25mm が閾値となり、浮上り量が閾値以上である時、底 板引上げ力は約100N/mmで一定値となっている.板厚 によって閾値と底板引上げ力の大きさが異なるのは, 底板の板厚が大きいほど底板の浮上り幅(タンクを中 央縦断面で見た時の底板の浮上った部分の長さ)が大 きくなり³⁾, 浮上り部分で負担する液荷重が大きくなる 為であると考えられる.また,底板引上げ力がある閾 値で一定になるのは, 浮上り幅も浮上り量が或る閾値 を超えると一定になる³⁾為であると考えられる.



4. 結語

FEM による数値解析の結果, 1) 浮上り量が或る閾値 を超えると底板引上げ力が一定になること、2)その閾 値と底板引上げ力は底板の板厚が大きいほど大きくな ることが明らかとなった。ロッキング運動に伴う底板 浮上り変形のメカニズム解明の為に、この閾値と底板 引上げ力がどう決定されるのかを説明することが今後 の課題である.

参考文献

1) 自治省消防庁: 1978年宮城県沖地震の被害報告書, pp.93-100, 1979.

- 2) 自治省消防庁: 1978 年宮城県沖地震による危険物の被害事例集, pp.51-64, 1979.
- 3) Yoshida, Y., Taniguchi, T. and Nakashima, T.: Uplift Deformation of The Bottom Plate of The Cylindrical Shell Tanks Under Steady-State Response of Tank Rocking Motion, ASME Pressure Vessels and Piping Conference, PVP2020, 2020.