

I-572

大型相似模型による円筒タンクの地震時浮き上り挙動の研究

川崎重工業 正員 坂井 藤一 川崎重工業 正員 磯江 暁

1. まえがき

先に著者らは、平底円筒タンクの地震時挙動を調査する目的で、大型の実機タンクと幾何学的・力学的に相似となるアルミニウム合金製の大型模型を用いた傾斜実験を実施した¹⁾（直径9.6mm、高さ8m、実機25,000kl石油タンク相当）。アンカーのない場合、タンクの地震時浮き上り現象は、側板下端における象の足形変形や座屈、あるいは底板-側板隅角部における亀裂発生の主因と考えられており、タンクの耐震安全性を検討するうえで重要な問題と見なされている。しかしながら、この挙動はきわめて複雑であるので、まだ解明されているとは言えない現状である。ここでは、大型実験によりタンク浮き上り挙動を詳細かつ厳密に調査した結果と、それを基にしてタンクの3次元挙動を考慮した側板軸力の算定法の提案などを行うものである。

2. 実験結果

Fig. 1は、ケースFO22およびFC22の、傾斜に伴う最大浮き上り高さの増加の様子を示している。ケースFO22は屋根の無い場合、ケースFC22は屋根を付けた場合であるが、前者の方が増加が急で、10.2°傾斜時にはケースFC22の2倍程度になっている。Fig. 2には、10.2°傾斜させた場合（震度0.43に相当）の、前2ケースの浮き上り挙動が比較してあるが、ケースFC22は屋根の影響でタンク全体の剛性が増加しており、浮き上り高さと同様、側板変位も屋根の無い場合に比べて小さくなっている。しかし、浮き上り範囲はより広い部分に及んでおり、軸圧縮力の集中が見られる。

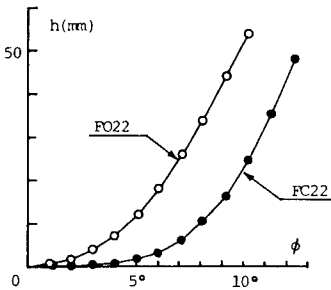


Fig. 1 Uplifting Height

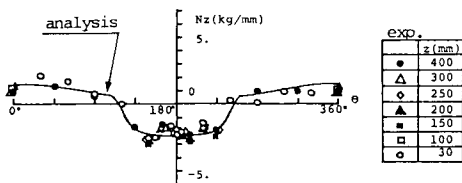


Fig. 4 Axial Force Distribution in the Circumferential Direction (FO22, $\phi = 10.2^\circ$)

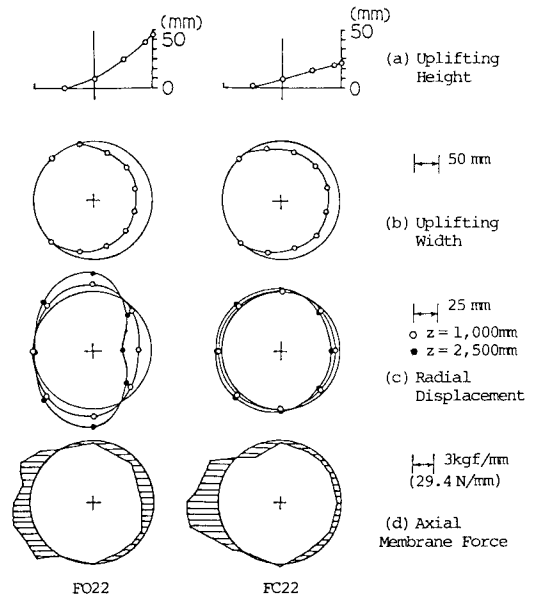


Fig. 2 Examples of Experimental Results ($\phi = 10.2^\circ$)

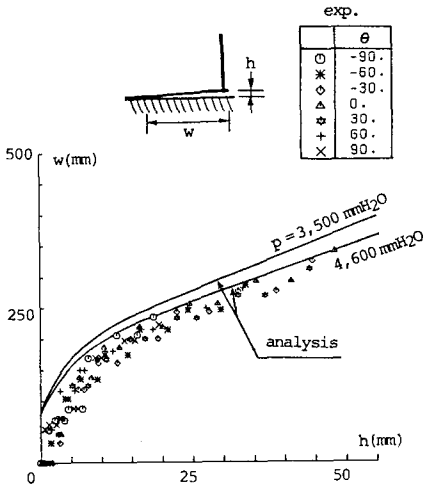


Fig. 3 Relation between Uplifting Height and Uplifting Width (FC22)

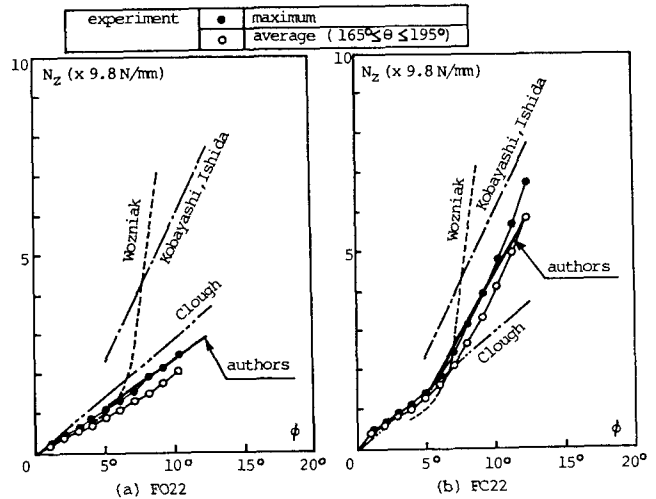


Fig. 5 Relation between Axial Force and Tilting Angle

3. 浮き上り挙動算定法

以上のように、たとえば上部屋根はタンクの浮き上り挙動に大きな影響を与えており、底部の浮き上り現象は側板下端付近の局所的な現象として考えることはできず、浮き上り挙動を算定するにはタンク全体の剛性を考慮した3次元解析が必要である。著者らは、側板シェルの3次元解と底板ストリップの2次元解を組み合わせた軸力算定方を開発した。計算を実施する上で設けた仮定は、次の3つである。

- ① タンク中心軸を含む2つの面により切り出された底板および側板下端から成るストリップの挙動は、2次元梁-柱モデルに置換し取り扱うことができる。
- ② 浮き上りを生じた際も、側板の挙動は線形シェル理論により取り扱うことができる。
- ③ 側板に負荷する液圧により側板下端に生じる軸力は、シェル静定解により近似できる。

仮定①の妥当性を、Fig. 3に示す。図には2次元モデルのプログラムにより計算された底板の浮き上り高さ w と浮き上り幅 h の関係を実線で示しているが、計算結果は実験結果より若干大き目になるものの、傾向はよく一致している。これは屋根付きのケースFC22の場合の結果であるが、屋根なしのケースF022の場合も同様である。

Fig. 4に、側板軸力の周方向分布を示す。これはケースF022の軸力であるが、計算値は実験値とよく一致している。Fig. 5に示してあるのは、傾斜角を増した場合の軸圧縮力の履歴で、黒丸で示してあるのが実験結果の最大値、白丸で示してあるのが、軸圧縮側正面より $\pm 15^\circ$ の範囲にある計測点での平均値である。また、過去に提案されている主な算定方による結果を合わせて示した。実験では、Fig. 2の場合と同様屋根の有無によりかなりの差が生じており、タンクの剛性について十分に考慮していない従来の方法に比べて、著者らの提案法は実験結果をより忠実に表現している。

- 1) 坂井、磯江、笈、平川、面谷：大型平底タンクの地震時挙動に関する研究、川崎重工技報、[97]、1987-8
- 2) Clough, D.P.: Experimental Evaluations of Seismic Design Method for Broad Cylindrical Tanks, UCB/EERC-77/10, Univ. of California, Berkeley, May, 1977
- 3) Wozniak, R.S. and Mitchel, W.W.: Basis of Seismic Design Provisions for Welded Steel Oil Storage Tanks, Proceedings API Refining Department, 1978
- 4) 小林、石田：アンカーのない円筒タンクのロッキングに対する耐震解析法（第1，2報），機械学会論文集，50巻，451号および453号，1984