

川崎重工業(株) 正員 小川 浩
同 正員 坂井 藤一

1. はじめに

円筒形液体タンクの耐震問題は、石油タンク・LNGタンクなどの設計上重要な問題として認識され、すでに実設計に反映されている。従来は消防法令において静的震度法(一部修正震度法の考え方も入っているか)の考え方により地震荷重を算定し、座屈をチェックする程度の基準しか存在しなかったが、最近では、通産省による本年(昭和57年)4月より施行、「高圧ガス設備等耐震設計基準」¹⁾に見られるオ一設計地震動(短周期成分による)及びオ二設計地震動(やや長周期成分による)による耐震設計のような本格的な基準が考えられて来ている。オ二設計地震動が対象とする現象はスロッシング(液面動揺)であるが、この解析では剛板を剛とみなした剛体モデルで解析解が容易に得られることもあり、設計上の問題となるのは、やや長周期成分の設計地震動をいかに定めるかということである。しかし、やや長周期成分による地震動の大きさは、不明な点が多く、上述の「基準」でも確定的なものになっていない。このため、これを合理的に決定するには、一層、調査・研究が必要であり、現在、そのような努力が続けられている。一方、オ一設計地震動が対象とする現象は主にバルジング(側板と内部液体の連成振動)であるが、この現象は、本質的にシエール流体系、複雑な解析を必要とし、地震荷重の算定に際しては、何らかの簡易化・実用化を行なうことが望まれた。筆者らは、FEMによるバルジング現象そのものの解明より出発し、その簡易化から、地震荷重近似計算式の提案を行なってきたが²⁾、最近アメリカでも、Housner et al.³⁾による同趣旨の研究が報告されている。ここでは両者の比較および筆者らの最近の修正結果などを報告することにした。

2. 地震荷重近似計算式

1) 基本固有周期の算定式

円筒形液体タンクの内部液体とタンク側板の連成振動を考慮したFEMより、基本固有周期は以下のようになる。

$$T_0 = \sqrt{\frac{W}{\pi g E t_0}}$$

$$\lambda = 0.067(H/D)^2 - 0.30(H/D) + 0.46$$

$$0.15 \leq H/D \leq 2.0$$

T_0 : 基本固有周期 H/D : 液高/直径

W : 内容液重量 g : 重力加速度

E : 側板の弾性係数

t_0 : 液高/2の高さにおける側板板厚

この式は、上述の「基準」などでも採用されている。これを Housner et al. の結果と比較した一例を図-1に示すが、両者の一致はよい。本式は、極めて簡単な形をしており、Housner et al. の提案より適用範囲も広い。

T_b : 1次バルジング固有周期

W : 内容液重量

g : 重力加速度

E : 側板のヤング率

t : 側板板厚(一様)

密度比

$$\frac{\rho_s(\text{側板})}{\rho_L(\text{内容液})} = 0.1274$$

$$\frac{t}{R(\text{半径})} = \frac{1}{1.000}$$

$$\lambda = \frac{2}{T_b} \sqrt{\frac{W}{\pi g E t}}$$

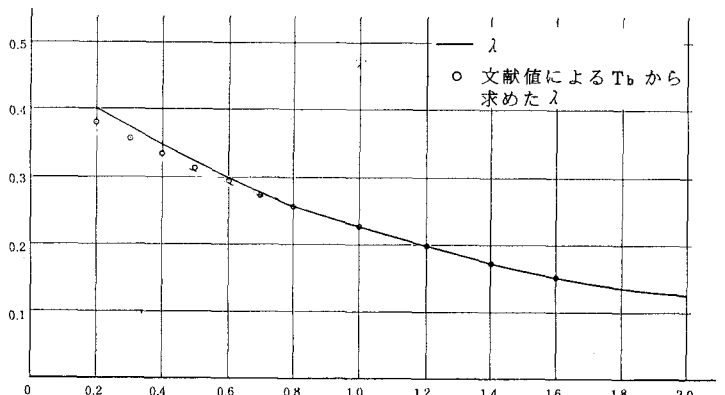


図-1 1次バルジング固有周期 T_b の計算における λ の比較

2) 動液圧の算定式⁴⁾

バルジング振動に関する動液圧。うち、側板変形により生じる動液圧(変形圧)の簡易算定式とFEMによる1パラメータ解析による解から最小二乗近似により5次の多項式として求めると、次のようになる。剛体速度ポテンシャル理論より級数解として求める衝撃圧分布も同様の形式で与えることにする。

$$P_0 = \gamma H \sum_{n=0}^5 \{ C_{0n} (z/H)^n \} \alpha$$

P_0 : 衝撃圧分布 C_{0n} : 多項式係数
 γ : 内部液体単位体積重量 (H の関数)
 α : 地表震度

$$P_1 = \gamma H \sum_{n=0}^5 \{ C_{1n} (z/H)^n \} \alpha$$

P_1 : 変形圧分布 C_{1n} : 多項式係数
 z/H : 高さ/液高 (H の関数)
 α : 応答震度

3) 水平力・転倒モーメントの算定式

動液圧を種分した全地震荷重としての水平力及び転倒モーメントの簡易算定式は、Housner et al. のものと比べると次のようになる。

i) 筆者らの方法

$$Q = W_0 \tilde{\alpha} + W_1 (\alpha - \tilde{\alpha})$$

$$M = W_0 H_0 \tilde{\alpha} + W_1 H_1 (\alpha - \tilde{\alpha})$$

Q : 水平力

$\tilde{\alpha}$: 地表震度(図-2では0.24)

α : 応答震度(図-2では $\alpha = 3\tilde{\alpha}$)

M : 転倒モーメント

W_0 : 衝撃圧分布における等価重量(固定水重量)

H_0 : W_0 の作用高

W_1 : 変形圧分布(バルジング1次)における等価重量

H_1 : W_1 の作用高

図-2に両者の比較を示すが、両者はほぼ同一の地震荷重を与える。

ii) Housner et al. の方法

$$Q = \sqrt{[(W_0 - W_1) \tilde{\alpha}]^2 + (W_1 \alpha)^2}$$

$$M = \sqrt{[(W_0 H_0 - W_1 H_1) \tilde{\alpha}]^2 + (W_1 H_1 \alpha)^2}$$

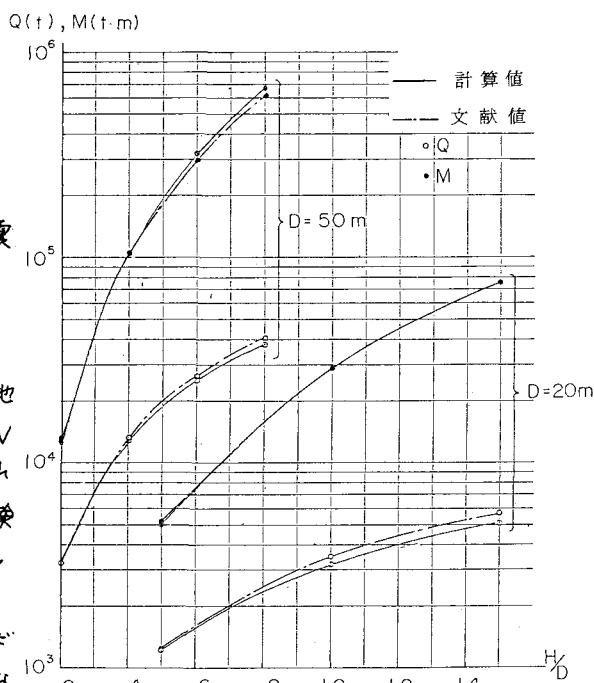


図-2 水平力 Q 、転倒モーメント M の比較

(内容液比重 = 1.0)

3. まとめ

円筒形液体タンクの地震荷重として、短周期成分地震動に対する荷重の近似算定法について述べた。LNGタンクなどではすでにこのような荷重が基準化されているが、石油タンクでは、現在、各種委員会を検討がなされている段階である。石油タンクでは、ロッキング、底板の浮き上がりなどの複雑な現象もあり、今後の研究が必要であるが、定量的に把握できる点でも基準化することがふさわしい。必要はことではないかと考えている。

参考文献

- 1) 通産省「高圧ガス等耐震設計基準」告示オ5/5号 昭和56年10月
- 2) 坂井迫田小川「石油タンクの耐震設計法-API改訂案に関連して」1144奇重工技報オ71号 昭和54年7月
- 3) Housner et al. 'Seismic Design of Liquid Storage Tanks' J. of Tech. Coun. of ASCE, Vol. 107, No. TC1, April, 1981
- 4) 日本ガス協会「有液式ガスホルダー指針」昭和57年3月