第 部門 陽解法を適用した液体含むタンクのロッキング振動解析に関する一研究

JIP テクノサイエンス(株)正会員中島 照浩鳥取大学大学院工学研究科学生員安藤 嘉紀鳥取大学工学部正会員谷口 朋代

1. 概要

大規模地震時における石油タンク(以下,タンクと呼ぶ)のロッキング振動は,底板に浮上りを生じさせ,着地時に底板と地面の衝突をともなうことから,タンクの破損の一要因となりうる.本現象を対象にした解析方法はいくつか提案されているが[1],流体-弾性連成を適切に考慮して,浮上り部近傍の底板や側板の応力を詳細に解析できるものはないようである.本研究では,タンクのロッキング振動の解析に陽解法を用いることを試み,解析の安定性と解析精度について検討した.検討は,液体を充填し傾けた容器の自由落下運動を対象として,FEMで離散化した解析モデルに陽解法を適用して時刻歴解析を行い,模型実験の結果と比較して行った.

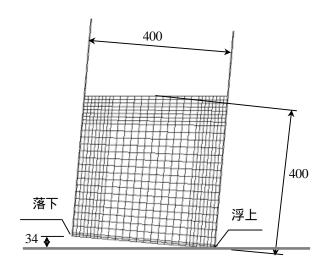
2.FEMモデルと解析方法

図 - 1に示すのように高さ H = 400 mm , 長さ = 400 mm の液体を含む容器の底板の片側を 5 。傾けた状態を 2 次元の有限要素によってモデル化を行う.ここで材質はアクリル($E = 2.9 \times 10^3 \text{N/mm}^2$) ,底板の板厚 10 mm を実験モデル相当とし,底板と地面にはすべりが生じないように接触条件を与える.液体については,その表面の小さな破砕が構造系全体のロッキング現象に与える影響が少ないと考えラグランジェメッシュを用いる.内溶液は水とし,この場合せん断応力は存在せず,状態方程式に基づき圧力が計算される.また,陽解法においては時間刻みが解法の安定性において極めて重要となり,本解析では容器の着地時に衝撃をともなうことが考えられるため,解析ステップ(t_c)をクーラン条件(式(1))による時間刻みの 1/5(t_c)をクーラン条件(式(1))による時間刻みの 1/5(t_c)とした.($t_c = 2.0 \times 10^7 \text{s}$)

$$\Delta t_c = \frac{\ell_c}{c}, \Delta t = \alpha \Delta t_c \quad (1)$$

ここに $, \ell_c :$ 各要素の長さの最小値

c:要素中を伝播する応力波速度なお解析には陽解法を適用していることから,初期状態は動的緩和法を用いて剛体運動を除いた運動エネルギーの収束計算によって静的なつりあい状態を求めている.解析コードはLS-DYNAを用いた.



質量1.0×10⁻⁹ ton/mm³ , 奥行き 100mm

図 - 1 FEM 形状図(単位 mm)

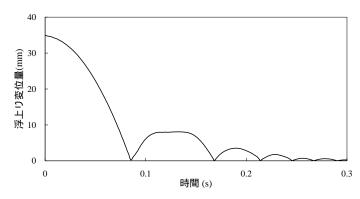


図 - 2 解析結果(底板の変位)

3.解析結果

図 - 2 には,図 - 1 に示す落下側及び浮上側の各節点における時刻歴変位をプロットした.この結果から初期の落下側が1回目の着地後に,浮上側が浮上りを始めその後最大8.6mmの高さに達した.この場合の反発係数は

約 0.26 である. また,この反発係数は着地直前の速度と着地後浮上り始めの速度に依存することから,それぞれの速度ベクトルの図化を行った.これを見ると,着地前(図-3(a))と着地後(図-3(b))では,容器の全ての速度ベクトルの向きが反転しているが,液体にはそれが現われていない.このことは,図-3(b)に示す右上にある液塊の速度ベクトルが,着地直前と同じ方向を向いていることから分かる.

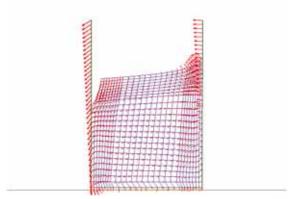


図 - 3(a) 着地直前の速度ベクトル



図 - 3(b) 着地直後の速度ベクトル

4.模型実験

図-1に示す形状と同様な円筒アクリル容器(図-4)に水を充填し容器の片側を浮上らせ,液面の安定後自由落下させることによりその挙動を観測した.観測には浮上り高さの計測の他,水と容器全体の挙動をとらえるために高速度カメラをパソコンに接続し画像を取り込む方法をとった.ここで実施した実験結果では,1回目の着地後浮上りの最大高さから反発係数約 0.29 を観測した(図-5).また保存した画像から液面の状況をみると解析により得られた変形とある程度の類似が見られた.



図 - 4 模型タンク

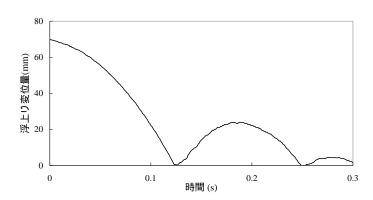


図 - 5 実験結果(底板の変位)

5.考察

本研究では、タンク底板の浮上りを伴うロッキング振動の基礎となる液体を含む容器自由落下運動を、FEMで離散化した解析モデルに陽解法を適用して時刻歴解析を行った。本解析では、解の不安定性は見られなかったことから、適切な時間刻みが設定できたと考える。また、タンク模型の製作精度、画像解析の精度を考慮すれば、解析と実験で得られた反発係数はよく一致しており、本解析は実際の現象を精度よく追跡できると考える。一方、着地前後の速度ベクトルから、タンクのロッキング現象においては、内容液を含めた構造システムとしての反発係数を求める必要があり、この反発係数を求める手法が今後の課題である。今後、この基礎的検証結果をもとに3次元円筒タンクのモデル化を行い実構造における検討につなげたい。

なお,本研究を行うにあたっては(財)中国技術振興センター主催,産学官連携シーズ育成事業タンクの合理的耐震設計法研究会各位の協力を得たことを記し謝意を表す.

参考文献: [1] T. Taniguchi, "Rocking dynamics of unanchored model flat-bottom cylindrical shell tanks subjected to harmonic excitation," Journal of Pressure Vessel Technologies, ASME, 127-4, pp. 373-386, 2005.