

卵型消化槽内容液の地震時波高の成長

九州大学工学部	正員	小坪 清真
九州工業大学工学部	正員	高西 照彦
九州工業大学工学部	正員	多田 浩
九州工業大学工学部	学生員	○木下 貴夫

1. まえがき 一般に、液体貯槽(tank)は、地震などの振動外力を受けると液面動揺(スロッシング)現象が起こる。新潟地震や日本海中部地震などの実際の地震において、スロッシングが原因と思われる被害が出たことを考慮すれば、貯槽の耐震設計を考える上でスロッシング現象を解明することは重要な問題である。そこで本研究では、近年我国でも建設され始めた卵型消化槽に対するスロッシングによる波高の成長について検討することを目的とした。しかし、卵型消化槽は形状が複雑であることから、本論ではまず、長方形タンクを対象として、それが強制変位を受けたときのスロッシングによる波高の成長に関する実験的、理論的研究を行った。

2. 振動試験 実験に用いた模型を図-1に示す。モデルBは、卵型消化槽の上部を2次元的にモデル化した模型である。材質は透明アクリル樹脂である。本実験の範囲内では、模型は剛体であると考えてよい。スロッシング波高は、ビデオ装置を用いて測定し、波面モードは、モータードライブカメラで撮影した。実験で用いた入力波形は、正弦波と日本海中部地震(1983年5月)における秋田港での記録である。図-2に入力地震波(EW成分)のフーリエスペクトルを示す。同図(A)は入力地震波のフーリエスペクトルを、(B)は(A)を入力した時の振動台加速度(模型に対する入力波)のそれを示している。振動台制御が完全でないために(A)と(B)のスペクトルには多少の差が生じている。

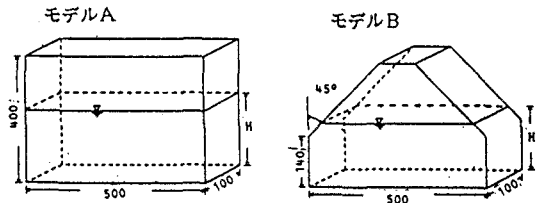


図-1 貯槽模型 (単位mm)

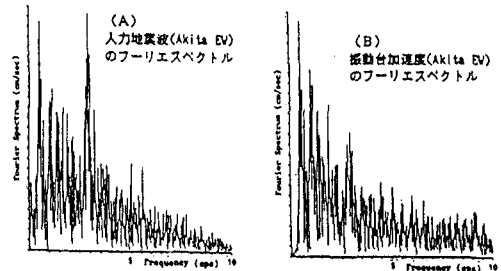
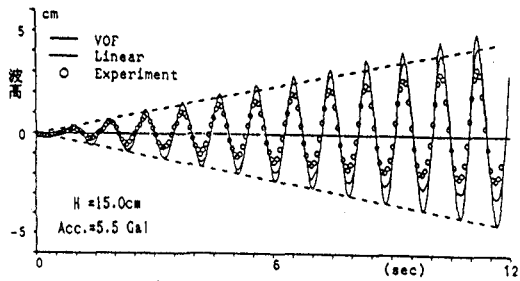


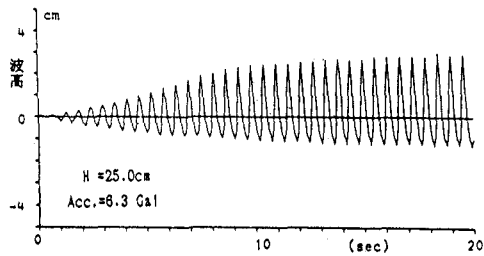
図-2 入力波のフーリエスペクトル

3. 解析手法 応答波高は、VOF法<sup>1)</sup>(fractional volume of fluid methodの略、これはNavier-Stokesの式を差分法により解く方法である)を用いて求めた。表面張力および水の粘性はいずれも考慮しなかった。解析対象貯槽はモデルA、Bを用い、差分メッシュは波高変動の激しい両壁付近で $\delta x_{min}=6mm$ 自由表面領域で $\delta y_{min}=6mm$ とし、水深その他の条件は実験のそれと同一の値を用いた。

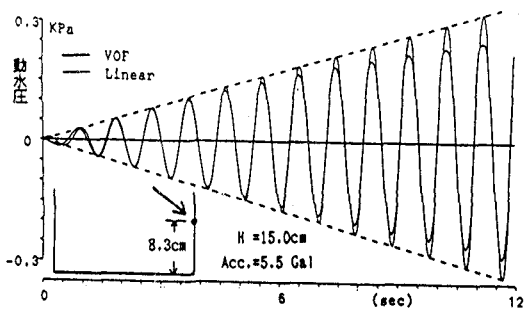
4. 実験結果・試算例 図-3(a)はモデルA(H=15cm)、(b)はモデルB(H=25cm)での正弦波入力時での貯槽側壁における時刻歴波高(実験・理論)を示し、(c)は図-3(a)の時の動水圧応答(理論)である。図-4には各モデルの地震波入力での時刻歴波高(実験・理論)を示し、図-5にはその時の波面モードの一例を示す。以上の結果より、スロッシング応答波高について次のことが考察される。 1)モデルAでの正弦波入力では、波高上昇時の非線形応答(太線)は線形解(細線)よりも大きくなっているが、下降時には逆に小さくなっている(図-3(a))。しかし、動水圧応答は、非線形解のほうが線形解よりも小さい。また、非線形解については波高下降時の方がその振幅が大きい(図-3(c))。実験波高は、非線形解に比較的良好に合っているが、最大波高に関しては理論値よりも実験値の方が小さい(図-3(b))。それは、壁面摩擦のために、そのような結果が得られたものと思われる。 2)モデルBでは、波高は時間と共に成長し続けるようなことはなく、まもなく一定になるが(図-3(b))、その非線形性はモデルAよりも大であることが波面モードか



(a) 波高の時刻歴応答 (モデルA)



(b) 波高の時刻歴応答 (モデルB)



(c) 動水圧の時刻歴応答 (モデルA)

図-3 時刻歴応答 (正弦波入力)

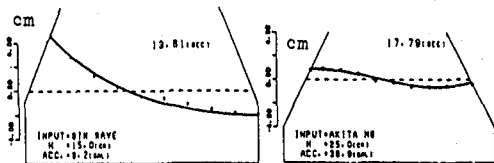
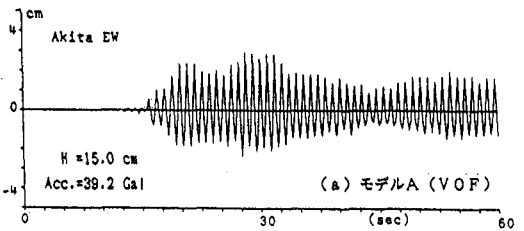
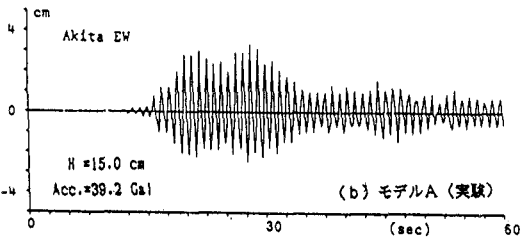


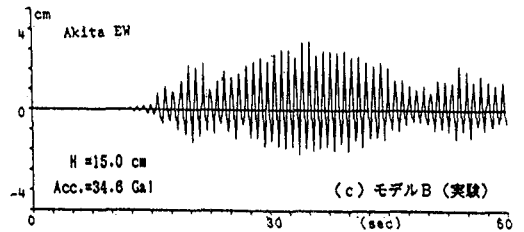
図-5 波面モード (実験)



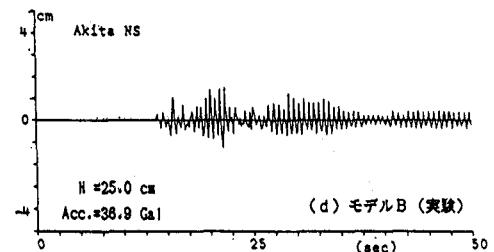
(a) モデルA (VOF)



(b) モデルA (実験)



(c) モデルB (実験)



(d) モデルB (実験)

図-4 波高の時刻歴応答 (地震波入力)

らみてとれよう(図-5)。3)地震波入力を用いた実験では、時間が経つと一旦増大した波高が入力が小さくなると共に減衰するが、数値計算の結果を見ると波面の動揺はすぐには収まらない(図-4)。4)EW,NS成分波を用いた計算では、モデルA、Bとも、約10波程度で最大波高に達するが、その発達過程は両者で多少異なる(図-4)。5)モデルBでは、水深の深い場合の方が浅い場合と比べて角度のついた側壁のため波高の成長が抑えられ、スロッシング現象が発達しない(図-4)。

5. まとめ 本研究では、2つの形の異なる貯槽を対象にしてスロッシング現象を論じてきたが、振動試験の結果より、モデルBはモデルAに比べてその波高の成長は著しくない。これは、モデルBでは波高が上昇しようとする角度のついた側壁で波の発達の方向を変えられるためである。この結果から考えると、卵型貯槽では、地震を受けてもスロッシングはあまり発達しないものと思われる。

<参考文献>1)B.D.Nichols,C.W.Hirt,R.S.Hotchikiss :”SOLA-VOF:A Solution Algorithm for Transient Fluid Flow with Multiple Free Boundaries”, Los Alamos Scientific Laboratory,1980