

Advance/FrontFlow/MP による波が碎ける場合を含めたスロッシング解析の検証

1 目的

Advance/FrontFlow/MP の二流体モデルは、

- ・メッシュサイズが大きくても液体と気体の質量が保存する。
- ・対向流(気体と液体の逆向き流れ)の非定常過程(非平衡過程)を計算できる。
そのため気液界面が非現実的に拡散しない。

という特長がある。

Advance/FrontFlow/MP の二流体モデルが上記の特長を保有していることにより、波が碎ける場合を含めてスロッシング解析に適用できることを検証する。

2 OKAMOTO らのスロッシング実験^(*)による検証

2.1 解析対象

解析対象は図 1 に示す OKAMOTO らのスロッシング実験⁽¹⁾とし、波の周期と振幅の再現性、界面形状の滑らかさ、界面幅について検証する。

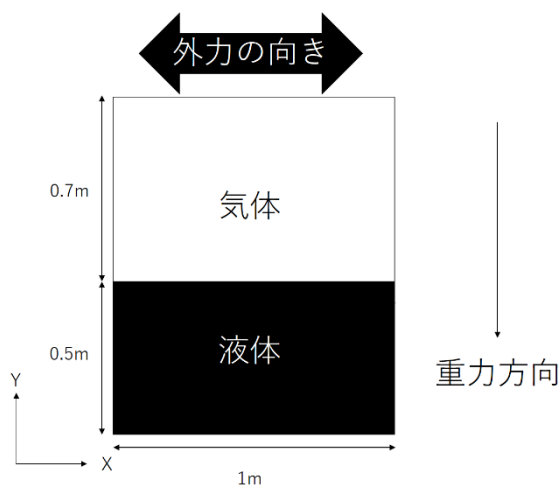


図 1 解析対象

参考文献:

- (1) Okamoto, Kawahara, Int.J.Numer.Meth.Fluid, Vol.11, pp453-477, 1990.

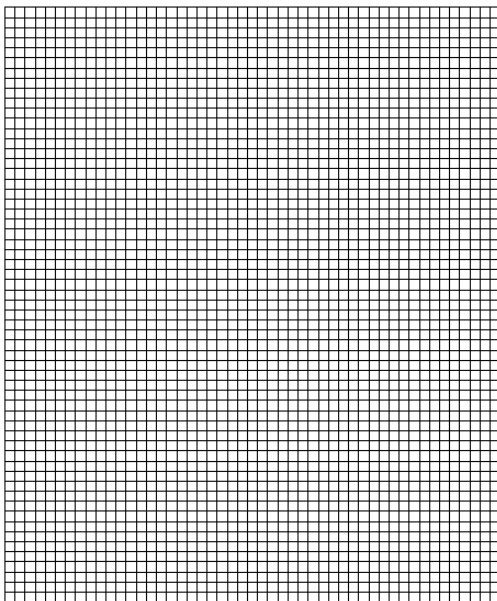
2.2 解析条件

解析条件を以下に示す。

- ・計算格子:奥行は 1/2 モデル、節点数は 9,000
- ・境界条件:奥行方向に格子数が少ないので、奥行方向の壁面は対称境界、それ以外の壁面は no-slip 境界
- ・時間積分:完全陰解法
- ・対流項:2 次風上
- ・空間精度:拡散項は 2 次中心
- ・時間刻み: $1.e-3[s]$

2.3 計算格子

計算格子図を図 2 に示す。



節点: 50(横) × 60(縦) × 3(奥行)
節点数: 9,000
横方向の最小格子幅: 20mm
縦方向の最小格子幅: 20mm

図 2 計算格子図

2.4 解析結果

現象 8 秒までを計算した。

左側壁面上の波高履歴の計算値と実験値を比較したグラフを図 3 に示す。グラフの実線は液体の体積割合が 0.01、0.05、0.1、0.5 以上での最高波高を、プロットは最高波高の実験値を示す。計算結果は実験結果の周期と振幅を再現している。

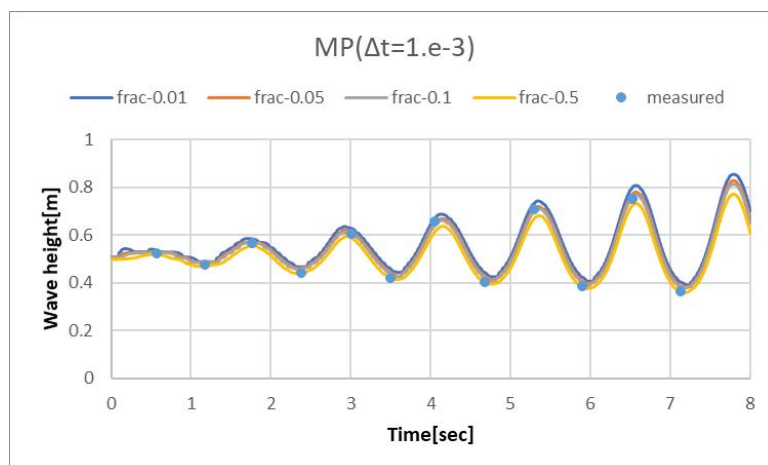


図3 左側壁面上の波高履歴の計算値と実験値の比較

8秒後の気体体積割合のコンター図を図4に示す。青色が液体単相、赤色が気体単相、中間色が界面幅を示す。界面形状を滑らかに計算できている。また、界面幅を保持して計算できている。

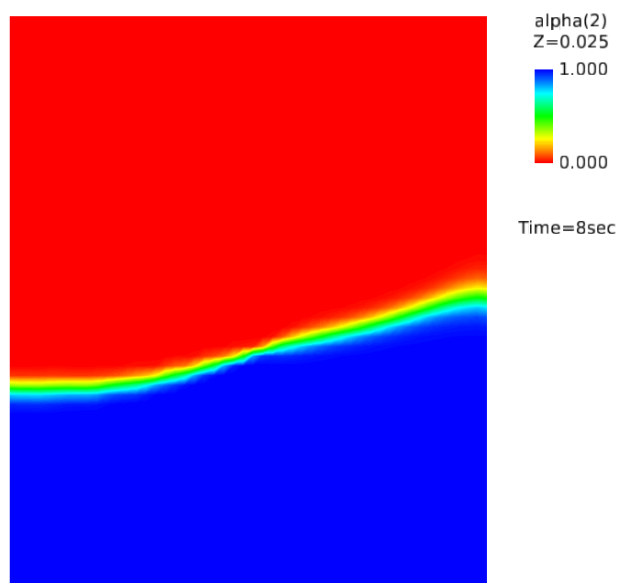


図4 8秒後の気体体積割合の計算結果
(青色が液体単相、赤色が気体単相、中間色は界面幅)

2.5 検証結果

- 計算結果は実験結果の周期と振幅を再現している。
- 界面形状を滑らかに計算できている。
- 界面幅を保持して計算できている。

3 波が砕ける解析の検証

3.1 解析対象

スロッシング時に波が砕けて界面が拡散し、時間の経過とともに界面がシャープに戻る計算が可能かどうかを検証する。

ここでは、容器中央に仕切りを置いて、上側に液体、下側に気体を入れ、容器を10度傾けた状態で仕切りを取り除いた後に、気体と液体が6秒で入れ替わり、約20秒後に定常に達する論文の結果⁽²⁾の再現性を検証する。

参考文献:

(2) 寺坂晴夫, 日本機械学会論文集(B 偏), Vol.65, No. 631, pp847, 1999.

3.2 解析条件

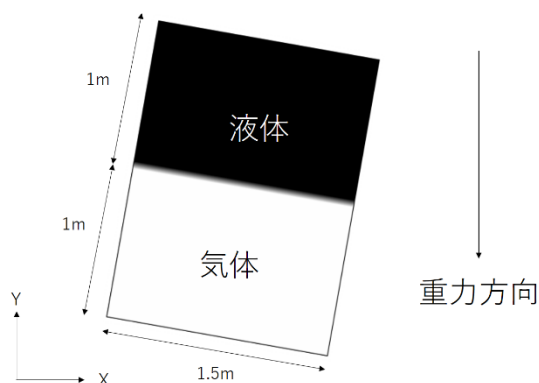


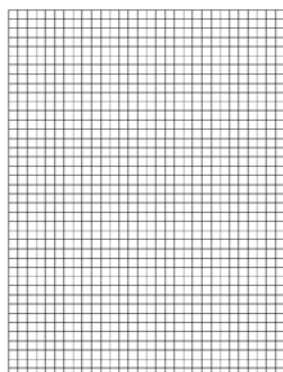
図 5 解析対象(初期値、傾斜角 10 度)

解析条件を以下に示す。

- ・計算格子: 節点数は 3,813
- ・境界条件: 全ての壁面は no-slip 境界
- ・重力: 傾斜していない格子に重力として X 方向に $1.703[\text{m}/\text{s}^2]$ 、Y 方向に $-9.658[\text{m}/\text{s}^2]$ の重力加速度を与えることにより傾斜角 10 度を再現
- ・時間積分: 完全陰解法
- ・対流項: 1 次風上
- ・空間精度: 拡散項は 2 次中心
- ・時間刻み: 二流体モデルは $1.e-2[\text{s}]$
- ・気体の密度: $1.2[\text{kg}/\text{m}^3]$
- ・液体の密度: $998.2[\text{kg}/\text{m}^3]$
- ・気体の粘性係数: $1.8e-5[\text{Pa}\cdot\text{s}]$
- ・液体の粘性係数: $1.e-3[\text{Pa}\cdot\text{s}]$

3.3 計算格子

計算格子図を図 6 に示す。



節点: 31(横) × 41(縦) × 3(奥行)
節点数: 3,813
横方向の格子幅: 5cm
縦方向の格子幅: 5cm

図 6 計算格子図

3.4 解析結果

初期状態から 20 秒まで、気体体積割合の時間変化の計算結果を図 7 に示す。青色は液体単相、赤色は気体単相、中間色は混相を示す。液相と気相が 6 秒で入れ替わり、約 20 秒後に定常に達する論文の結果を再現している。

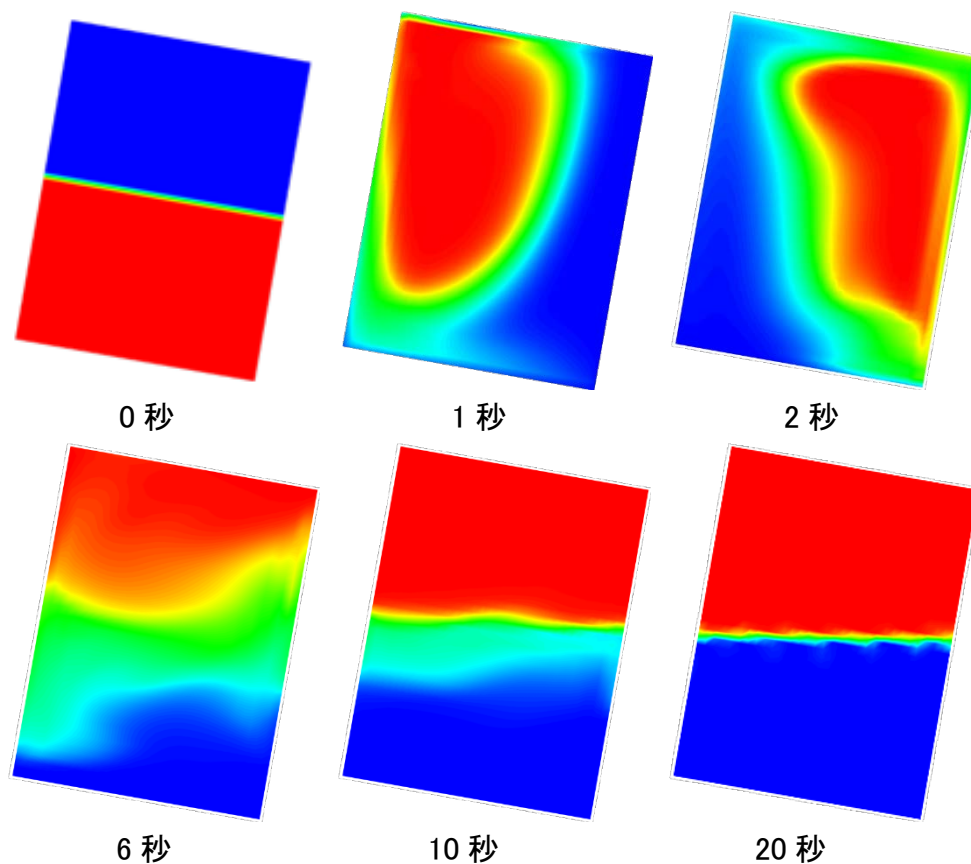


図 7 気体体積割合の時間変化

(青色: 液体単相、赤色: 気体単相、中間色: 混相)

3.5 検証結果

- 計算結果は液相と気相が6秒で入れ替わり、約20秒後に定常に達する論文の結果を再現している。

4 まとめ

- OKAMOTOらのスロッシング実験による検証結果から、計算結果は実験結果の周期と振幅を再現し、界面形状を滑らかに、界面幅を保持して計算できている。
- 波が砕ける解析の検証結果から、液相と気相が6秒で入れ替わり、約20秒後に定常に達する論文の結果を再現している。
- Advance/FrontFlow/MPの二流体モデルは、波が砕ける場合を含めてスロッシング解析に適用できる。