

衝撃波を伴う固・気二相流の数値解析に関する研究

学生証番号 086081 氏名 湯田 盛仁
(指導教員 鈴木 宏二郎 教授)

Key Words : CFD, Two Phase Flow, Shock Wave, Supersonic Flow

1. はじめに

衝撃波を伴う固体・液体・気体の高速混相流の統一解法[1]は数値流体力学において依然としてチャレンジングな問題であり、惑星科学だけでなく宇宙輸送機の熱防御システム開発など理工学における応用も広いため、解析手法の確立は重要である。本研究では、衝撃波を伴う固体・液体・気体の高速混相流の統一解法の確立のため、衝撃波を伴う固体・気体の高速混相流の統一解法の開発を目指す。

2. 流れの解法

2.1 解法について

本研究では、統一解法を目指すため異なる相も含めて1つの連続体として扱う。また、非粘性流れとし、混相流であっても1つの計算セルの中で温度、速度、圧力は1つに定まり、異なる相間での差はないと仮定した。

2.2 支配方程式

質量保存の式は、計算セル内の相の占める割合として体積率 α を導入し、各相に対して以下の式となる。

$$\frac{\partial}{\partial t} \alpha \rho + \frac{\partial}{\partial x} (\alpha \rho u) = 0 \quad (1)$$

運動量保存とエネルギー保存は、セル内で温度、速度が等しいと仮定したため、計算セル全体の運動量、エネルギーの式を用いた。また、気体は理想気体の状態方程式、固体は体積弾性率の式を積分し、標準状態まわりで線形化した式を状態方程式とした。

2.3 体積率の解法モデル

支配方程式に加え、界面を捕獲する体積率の式が必要となる。ここでは、固体と気体が混在するセルであっても相間に圧力差はないと仮定し、気体と固体の状態方程式を等式として式変形し、体積率の二次方程式を用いた。

$$f(\alpha) = A\alpha^2 + B\alpha + C = 0 \quad (2)$$

ここで、 $A < 0, f(0) > 0, f(1) < 0$ の関係が成り立ち、式(2)は $0 < \alpha < 1$ で解が一つ存在する。

2.4 数値解析スキーム

数値解析スキームは、AUSM系スキームのSLAUスキーム[2]を用いた。低マッハ数で誤差を小さく解くためのスキームであり、音速の速い固体を流体と仮定して解析を行うためである。

3. 数値解析結果

解析対象を氷と空気の一次元の衝突問題とし、解法の検討を行った。解析結果では、気流が氷に衝突し、気流側には衝撃波が形成され氷側では、よどみ点での圧力が氷側後方へ伝播していく様子が確認できた。この伝播速度は氷の音速(3230[m/s])で伝播しており、氷に衝撃が加わったとき衝撃が氷の中を伝播する物理現象を再現することができた。また、二次元問題でも安定に計算を行うことができることを確認した。よって固体・気体の高速混相流れを以上で示した解法を用いることにより安定に解くことができたと言える。

4. まとめ

衝撃波を伴う固・気二相流を連続体として扱うことのできる新しい非粘性流計算コードを開発した。保存則に基づく解法と、密度差が大きく音速不連続の流れを安定に解くことができるCFDスキームと計算方法を提案した。また、体積率を考え、その解法モデルを導入し界面捕獲が可能な解析方法を提案した。今後は、粘性計算、固体の応力場、定量的な評価を検討する必要がある。

参考文献

- [1] 矢部孝, 尾形陽一, 固体・液体・気体の統一解法がもたらす新しいパラダイム, 日本機械学会, No.34, 2001
- [2] 嶋英志. 低マッハ数で誤差の小さい圧縮性CFD手法について. 第40回流体力学講演会/航空宇宙数値シミュレーション技術シンポジウム, No.1B6, 2008