

粘性流れに対する非構造格子を用いた移動境界計算法

Moving Boundary Method using Unstructured Mesh for Viscous Flows

- 山川勝史, 京工繊大, 京都市左京区松ヶ崎御所海道町, E-mail:yamakawa@kit.ac.jp
 浅川弘也, 京工繊大, 京都市左京区松ヶ崎御所海道町, E-mail:hiroya-asakawa@iac.ih.co.jp
 中島優樹, 京工繊大, 京都市左京区松ヶ崎御所海道町, E-mail:nakashimay@yamaha-motor.co.jp
 松野謙一, 京工繊大, 京都市左京区松ヶ崎御所海道町, E-mail:matsuno@kit.ac.jp
 Masashi YAMAKAWA, Dept. of Mech. and Syst. Eng., Kyoto Inst. Tech., Matsugasaki, Kyoto, Japan
 Hiroya ASAKAWA, Dept. of Mech. and Syst. Eng., Kyoto Inst. Tech., Matsugasaki, Kyoto, Japan
 Yuki NAKASHIMA, Dept. of Mech. and Syst. Eng., Kyoto Inst. Tech., Matsugasaki, Kyoto, Japan
 Kenichi MATSUNO, Dept. of Mech. and Syst. Eng., Kyoto Inst. Tech., Matsugasaki, Kyoto, Japan

In this paper, a moving boundary method using unstructured mesh for viscous flows is proposed. The method is constructed based on physical and geometric conservation laws. However, the method should be related to government equations. Then, for compressible flows, general compressible scheme is adapt, and for incompressible flows, an artificial compressibility approach is chosen. In this paper, the method promises to develop three-dimensional viscous flow around the oscillating ONERA M6 and a walking human body.

1. 諸言

物体適合格子を用いた移動境界問題に対する効率の良い計算手法の一つとして、著者らは非構造移動格子有限体積法⁽¹⁾を提案してきた。これは空間3次元と時間1次元を合わせた4次元の統一時空間を検査体積として有限体積法を適用することにより、幾何保存則を完全に満足させることができる計算手法である。つまり時間と共に変化する計算格子(により定義される検査体積)に流入する物理量および流束を完全に保存できることから、大規模変形に対しても計算誤差を蓄積することなく実行することが可能となる。

さて、これまで本手法は圧縮性流れを中心に、連成問題、解適合格子や重畳格子と組み合わせた計算手法、物体移動に合わせて計算要素を追加・削除する方法など、数多くの拡張、発展を行ってきたが、ほとんどが非粘性流であった。しかし実際の流れ場へ適用するにあたり粘性流への拡張は必要であると考えられる。そこで本手法を圧縮性流体および非圧縮性流体について個々に展開するため、その検討を行った。まず、圧縮性流体に対しては格子間隙が極端に薄くなるため、移動境界問題では安定した計算を行うためのハードルが高い高レイノルズ流れを取り上げる。ここでは三次元流では効率的な格子配置であるプリズム格子に対する非構造移動格子有限体積法の定式化を行う。また非圧縮性流体については、基礎方程式に擬似圧縮項を導入することで、全物理量が時間発展的に求まる擬似圧縮性法⁽²⁾を用いる。またこれは、これまで培った圧縮性流体への解法を踏襲し、スムーズな移行が期待できる。本論文では、これら2ケースについての計算手法を構築すると共に、実際の流れ場へ適用することで本手法の有効性を確認する。

2. 非構造移動格子有限体積法

時空間の統一領域において評価を行うため、発散形表示させた3次元ナビエ・ストークス方程式を以下に示す検査体積において有限体積法を適用する。これは物体近傍で使用されるプリズム格子であり、無論物体から離れた領域では効率化のため検査体積は四面体となる。この10点(四面体の場合は8点)で形成される検査体積について基礎方程式を積分し、ガウスの発散定理を適用することで解くべき次式を得ることができる。ここで l は検査体積の境界を表すが、検査体積が時空間の四次元であるため、その境界は三次元つまり体積(境界体)となる。 Φ は非粘性、粘性流束

ベクトルの和を示しており、また n_l は各境界における外向きの法線ベクトルを示している。ここで N_S は各要素の境界数であり、プリズムなら $N_S=5$ となる。実用例として振動するONERA M6周りの流れ場における計算結果を示す。図は翼面上の圧力分布について時刻の異なる2つの結果である。圧力分布の変化を捉えていることを確認することができる。

$$\sum_{l=1}^{N_S+2} (qn_l + \Phi)_l dS_l = 0 \quad (1)$$

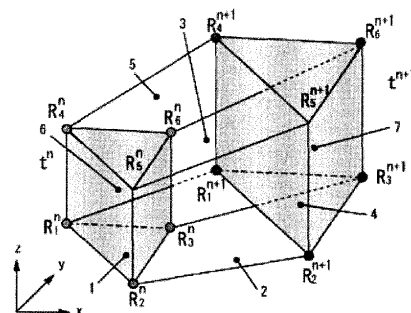


Fig. 1. Crack propagation behavior.

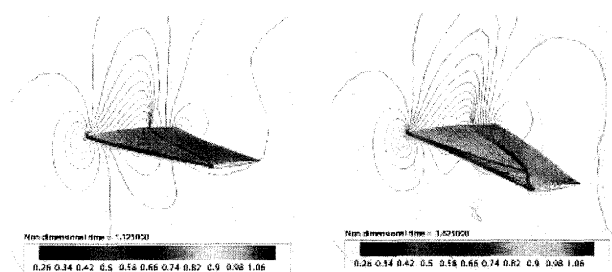


Fig.2 Pressure contours ($t = 1.125$ and $t = 3.625$)

参考文献

- (1) 山川勝史, 松野謙一, “非構造移動格子有限体積法”, 機論 B, 69-683 (2005), 1577..
- (2) Chorin A. J., “A numerical method for solving incompressible viscous flow problems”, J. Comp. Phys., 2 (1967), 12