ADVENTURE_sFlow の概要

Introduction of a Stationary Navier-Stokes Solver with HDDM
(ADVENTURE_sFlow)

○ 小森 宏一 * ((株) 計算工学研究所) 呉 廣林 (九州大学)

佐藤 大悟 (九州大学) 金山 寛 (九州大学)

Kouichi KOMORI, Keisan Kōgaku Kenkyujyo Corporation

Wu Guanglin, Kyushu University

Daigo SATO, Kyushu University

Hiroshi KANAYAMA, Kyushu University

Key Words : HDDM, Stationary Navier-Stokes Solver, Stabilized FEM

1 はじめに

近年、機器の高性能化、大規模化によりシミュレーションへの期待は増加の傾向にある。特に流体に関連した問題は設備・機器の及ぼす環境問題、機器構造の複雑化、機器の多品種化、機器の利用範囲の拡大により広範囲に需要が生じている。我々は、階層型領域分割法を用いた定常流れ問題ソルバー (ADVENTURE_sFlow) の開発を進めてきたが、近々公開の予定である。そこで、ADVENTURE_sFlow の概要およびいくつかの計算例について報告する。

2 特徴

ADVENTURE_sFlow は、ADVENTURE システム⁽¹⁾ のソルバーの一つとして企画されたもので、以下のような特徴を持っている。

- 大規模な定常流れ問題 (Navier-Stokes 方程式) の解析が可能⁽²⁾
- 階層型領域分割法⁽³⁾ を用いて並列環境下で負荷分散を行う
- 非線形解法として Newton 法を採用
- 安定化有限要素法⁽⁴⁾ を採用
- 反復解法として、GP-BiCG 法、BiCGSTAB 法、BiCGSTAB2 法が使える
- 4 面体 1 次要素に対応
- 並列処理ライブラリに MPI を採用

*連絡先：小森宏一，〒860-0833 熊本市平成 2-12-24 (株) 計算工学研究所，e-mail: keisank2@giga.ocn.ne.jp

- 対応プラットフォームは Linux, Unix

3 解析手順

3.1 ADVENTURE_sFlow での変更点

ADVENTURE システムでの標準的な解析の流れは以下のようである。

- (1) 3 次元 CAD による解析形状のモデリング (IGES 形式で出力する)
- (2) AdvTriPatch による 3 角形表面パッチの作成
- (3) AdvTetMesh による 4 面体メッシュの作成
- (4) msh2pch ツールによるメッシュ表面の抽出
- (5) bcGUI による境界条件の設定
- (6) makefem ツールによる一体型解析モデルファイルの作成
- (7) AdvMetis による領域分割
- (8) 各種ソルバー (AdvSolid, AdvThermal, AdvFlow など) による解析
- (9) AdvVisual による可視化

標準の ADVENTURE システムは、AdvSolid での解析を前提としているため sFlow で解析するには、以下の変更点がある。

- bcGUI による境界条件の設定
- 一体型解析モデルファイルの作成方法
- 解析結果の可視化方法

3.2 bcGUIによる境界条件の設定

bcGUIを用いて境界条件を設定することができる。このとき、速度の設定には、Displacement ウィンドウで、流速の設定には、Load ウィンドウで行う。bcGUIでは、圧力の設定はできない。圧力の設定は、bcGUIから出力されるファイルにエディタ等で直接記述することで対応する。

3.3 一体型解析モデルファイルの作成方法

一体型解析モデルファイルの作成には ADVENTURE_sFlow 専用の fgr_getnode ツールと sflow_makefem ツールで行う。fgr_getnode ツールは境界条件を設定するのに必要な境界面に属する節点データを作成する。sflow_makefem ツールはメッシュ・ファイルと境界条件を記述したファイル、fgr_getnode ツールで作成されたファイルおよび動粘性係数から一体型解析モデルファイルを作成する。

3.4 解析結果の可視化方法

AdvVisual を用いても最低限の可視化は可能であるが、ADVENTURE システムのソルバーの一つである ADVENTURE_Fluid に含まれる advfluid_p_rest2ucd ツールを利用すれば、AVS Express や Micro AVS を用いて可視化することができる。

4 解析例

4.1 キャビティ問題

Fig.1 Pressure of a cavity model

cavity 問題で、解析領域は $1.0 \times 1.0 \times 1.0 m^3$ の立方体で上面に流速 $1.0 m/s$ を与え、その他の面は粘着境界とし、外力は考慮しない。動粘性係数は $1.0 \times 10^{-2} m^2/s$ である。要素は 4 面体 1 次、要素数 46941、自由度 36300 である。反復法には BiCGSTAB2 を用い収束判定には相対残差の 2 ノルムが 1.0×10^{-6} 以下になることで、非線形解析には Newton 法を用い収束判定には自由度の変化率が 1.0×10^{-4} 以下になることで行った。計算時間は、Pentium4 の 2GHz を 2 台使って約 17 分である。Fig.1 に圧力のコンター図を示す。

4.2 地下鉄ホーム

Fig.2 Velocity of air flows in the station

地下鉄ホームでの空気の流れ問題で、列車の出入口 4 箇所のうち対角線上の 2 箇所に流速 $3.0 m/s$ を与え、他の 2 箇所と駅の出入口 3 箇所は自由、その他の面は粘着境界とし、外力は考慮しない。動粘性係数は $1.0 \times 10^{-2} m^2/s$ である。要素は 4 面体 1 次、要素数 189359、自由度 164408 である。反復法には GP-BiCG を用い収束判定には相対残差の 2 ノルムが 1.0×10^{-6} 以下になることで、非線形解析には Newton 法を用い収束判定には自由度の変化率が 1.0×10^{-4} 以下になることで行った。計算時間は、Pentium4 の 2GHz を 12 台使って 133 秒である。

5 おわりに

近々公開予定の ADVENTURE_sFlow の概要について報告した。3次元 CAD で作成された解析範囲の形状モデル (IGES 形式) があれば ADVENTURE の各種ツール群と ADVENTURE_sFlow に含まれるツールを利用することで、定常流れ問題 (Navier-Stokes 方程式) の解析が可能である。今後、さらに取扱いを容易にするためのツールの整備や、ソルバーを高速化するための前処理の検討も含めてプログラムの改善を行う予定である。

参考文献

- (1) <http://adventure.q.t.u-tokyo.ac.jp/>
- (2) 金山寛, 田上大助, 呉廣林, 千葉真嗣, ADVENTURE_sFlow を用いた定常流れ問題の数値シミュレーション, 日本機械学会第 17 回計算力学講演会論文集, No.4-40, pp.831-832(2004.11)
- (3) 金山寛, 田上大助, 謝良友, 荒木隆宏, 反復型領域分割法を用いた定常流れ問題の有限要素解析, 第 51 回理論応用力学講演会論文集, pp.503-504(2002.1)
- (4) 金山寛, 久米宏和, 田上大助, 安定化有限要素法による定常 Navier-Stokes 問題と階層型領域分割法, 第 9 回計算工学講演会論文集, Vol.9, No.2, pp.439-440(2004.5)