

接触を考慮した大変形 FSI 解析のための 固定メッシュに基づく partitioned solution method の開発

Development of fixed mesh-based partitioned solution method for large-deformation FSI analysis with contact

- 橋本学, 理研, 〒 351-0198 埼玉県和光市広沢 2-1, E-mail : ghashimoto@riken.jp
- 小野謙二, 理研, 〒 351-0198 埼玉県和光市広沢 2-1, E-mail : keno@riken.jp
- Gaku Hashimoto, RIKEN, 2-1 Hirosawa, Wako-shi, Saitama 351-0198
- Kenji Ono, RIKEN, 2-1 Hirosawa, Wako-shi, Saitama 351-0198

We develop a partitioned-solution (iterative-staggered) coupling method based on a fixed Eulerian mesh with the level set function to solve large deformation fluid-structure interaction problems with contact. This method combines advanced fluid and structure solvers, an interface treatment using level set virtual particles is introduced. In this study, contact-searching and calculation of contact forces are added to the structure solver. Application of the method to folded airbag deployment simulation shows the adequacy of the method.

1. 緒言

自動車のエアバッグ展開は、大変形 FSI (Fluid-Structure Interaction) 問題の一つである。折りたたまれたエアバッグの展開を精度良く予測できることは、乗員保護の点から重要である。

本研究では、構造が自身と接触しながら、流体中を大変形する FSI 問題を解くことが可能な計算手法を開発する。

2. 支配方程式

流体には、圧縮性かつ非粘性を仮定した支配方程式を扱う。このとき、変数は、密度 ρ 、速度 \mathbf{v} 、圧力 p である。さらに、本研究では、CIP (Constrained Interpolation Profile) 有限要素法を用いるために、変数の微分量の支配方程式も扱う。

構造には、圧縮性かつ弾性を仮定した支配方程式を扱い、St. Venant-Kirchhoff 体の構成方程式を用いる。このとき、変数は、変位 \mathbf{u} 、速度 \mathbf{v} 、加速度 \mathbf{a} である。

流体と構造の界面上では、接線方向へのスリップを考慮した運動学的条件と動力学的条件が成り立つ。

3. 数値計算法

本研究で扱う構造の接触問題では、摩擦を考慮せず、有限変形を仮定し、接触点の位置と接触面の方向の変化を考慮した接線剛性マトリックスを求める⁽¹⁾。また、接触の拘束条件の導入方法として、Lagrange 未定乗数法を用いる⁽¹⁾⁽²⁾。

partitioned-solution (iterative-staggered) coupling method の計算手順 (P1) ~ (P4) を以下に示す。著者がこれまで提案してきた partitioned-solution method⁽³⁾ の構造ソルバー部分に接触の探索および接触力の計算を追加する。

- (P1) 構造変数の Neumann 境界条件となるトラクション (p) を求める。構造の自己接触の探索を行い、接触点を求める。有限変位/回転増分を考慮した構造要素を用いる有限要素法によって、構造節点での \mathbf{u} 、 \mathbf{v} 、 \mathbf{a} および接触点での接触力を計算する。
- (P2) レベルセット仮想粒子を利用して、レベルセット関数 $\phi(\mathbf{x})$ を流体メッシュ上に生成し、流体変数の Dirichlet 境界条件を与える。
- (P3) CIP 有限要素法を用いて、流体節点での ρ 、 \mathbf{v} 、 p を計算する。
- (P4) 流体節点と構造節点での \mathbf{v} が収束していれば、構造変数と流体変数を次時刻の値とする。

4. 大変形 FSI 問題に対する検証

折りたたまれた状態のエアバッグ展開を想定した空気と薄い弾性構造の連成解析を行う。流入口では、空気の密度は $\rho = 16.0 \text{ kg/m}^3$ 、速度は $v_1 = 0$ 、 $v_2 = 73.0 \text{ m/s}$ 、圧力は $p = 12.0 \text{ atm}$ である。解析モデルは、Cirak らが行ったエアバッグ展開の計算条件⁽⁴⁾に基づいている。Cirak らのエアバッグモデルは折りたたまれていない平らな状態であるが、本解析で扱うエアバッグモデルは Fig. 1 のような折りたたんだ状態を考えている。

講演発表では、計算結果の詳細な検討を行う予定である。

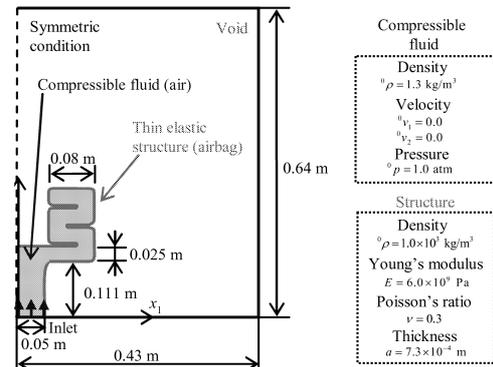


Fig. 1: 2D Analysis model of folded airbag deployment

5. 結言

本研究では、構造の自己接触を伴う大変形 FSI 問題を解くため、レベルセット関数を用いた固定メッシュに基づく partitioned-solution method への接触の探索および接触力の計算の導入について検討した。

謝辞

本研究は、科研費 (課題番号 21760064) の助成を受けたものである。ここに記して、心から感謝の意を表す。

参考文献

- (1) 久田俊明, 野口裕久, 非線形有限要素法の基礎と応用, (1995), 丸善.
- (2) Zhong, Z.H., Finite element procedure for contact-impact problems, (1993), Oxford University Press.
- (3) 橋本学, 小野謙二, 第 22 回数値流体力学シンポジウム講演要旨集, (2008), p.166.
- (4) Cirak, F. and Radovitzky, R., Computers & Structures, 83 (2005), pp.491-498.