J01216

Navier-Stokes 流れに対する投影面積制約下の トポロジー最適化

Topology Optimization in Navier-Stokes equation under the projected area constraint

○学 森下 直幸^{*1}, 西脇 眞二^{*1}
 泉井 一浩^{*1}, 近藤 継男^{*1},
 Naoyuki MORISHITA^{*1}, Shinji NISHIWAKI^{*1},
 Kazuhiro IZUI^{*1}, Tsuguo KONDOH^{*1}
^{*1} 京都大学 Kyoto University

Key Words : Topology optimization, Drag minimization, Projected area constraint

近年、流体の問題に対してトポロジー最適化法を適用する研究が行われている。とりわけ抗力最小化問題については Kondoh (1) らによって、非圧縮で軸対称な二次元の層流における物体の最適構造を体積制約の下で求めることに成功している。しかしながら、抗力は物体の投影面積（力の向きに対して垂直な面の面積）を用いて、無次元化された形で評価する必要がある。一方で、仮想的な物理モデルに基づいて幾何学的制約を与えながらトポロジー最適化を行う手法が、Yamada (2) や Sato (3) らによって提案されており、この手法を拡張することで投影面積を評価することができる。以上のことから本研究では、トポロジー最適化法を用いて、投影面積制約を与えながら、二次元の Navier-Stokes 流れにおかれた物体周りにはたらく抗力が最小となるような最適構造を算出した。

まず、Yamada (4) らによって提案されたレベルセット法を用いて、幾何制約の下でのトポロジー最適化法を定式化した。具体的には、体積力を通して物体の有無を表現するブリンクマンモデルを用いて、設計変数であるレベルセット関数と流れの基礎方程式を関連付け、レベルセット関数の値が正なら流体領域、負なら物体領域と定義した。また、幾何制約である投影面積制約を与えるために、本モデルでは移流拡散方程式を導入した。異方性の強い熱の流れを表すよう構築された移流拡散方程式を解くことで、仮想的な温度場を得ることができ、この温度分布を利用して物体の投影面積を算出することが可能となった。次に、ラグランジュ未定乗数法と随伴変数法を用いて、設計感度を導出した。最後に、投影面積制約付きのトポロジー最適化をレイノルズ数 $Re \leq 200$ の範囲で行い、抗力が最小となる最適構造が得られた。また、流れの中におかれた円柱まわりにはたらく抗力の値と最適構造まわりの抗力を比較することで、結果の妥当性を示す。

文 献

- (1) T. Kondoh, T. Matsumori, and A. Kawamoto, Drag minimization and lift maximization in laminar flows via topology optimization employing simple objective function expressions based on body force integration. Struct Multidisc Optim, 45:693-701,(2012)
- (2) T. Yamada, Thickness constraints for topology optimization using the fictitious physical model, Proc. of the 6th international conference on Engineering Optimization (Lisbon, 2018) pp. 483-490.
- (3) Y. Sato, T. Yamada, K. Izui and S. Nishiwaki, Manufacturability evaluation for molded parts using fictitious physical models, and its application in topology optimization, The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, Vol.92, pp.1391-1409, (2017)
- (4) T. Yamada, K. Izui, S. Nishiwaki and A. Takezawa, A topology optimization method based on the level set method incorporating a fictitious interface energy, Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering, Vol.199, pp.2876-2891, 2010.