

最適設計における逐次感度近似法の提案とその流れ場のトポロジー最適化への適用

著者	米倉 一男
学位授与年月日	2016-03-24
URL	http://doi.org/10.15083/00073990

論文の内容の要旨

論文題目 最適設計における逐次感度近似法の提案と
その流れ場のトポロジー最適化への適用

氏 名 米倉 一男

本論文では最適設計手法とその流れ場への適用を取り扱う。最適設計は学問的な研究と並行して実務上でも急速に応用が進んでいる。実用上の課題として、最適設計の計算コストが大きくなりがちであることが挙げられる。既存の最適化手法では、場の変数を解き、その結果を用いて設計変数を更新する、という方法が主流である。この場合、場の変数の数値計算を繰り返す必要があり、非線形方程式に対しては計算コストが増大する一因になっている。特に流れ場の方程式は非線形性が強く、繰り返し計算が大きな負担になる。これに対し SAND法 (Simultaneous Analysis and Design) やone-shot approachのように、設計変数と場の変数をそれぞれ最適性条件と場の支配方程式を満たすように同時並行して更新する方法も提案されている。本論文では、SAND法などと同様に場の変数の計算と設計変数の更新を並行して行う手法を構築する。特に非定常な流れの方程式に従う場に適用することを考え、ある時刻における場の変数を用いて、計算上の一ステップ先の目的関数を小さくするような最適化方法を構築する。この工夫により、繰り返し計算の負担が小さくなり、計算コストが減少することが期待される。場の変数の計算は既存の数値計算法を用い、設計変数の更新には感度法に基づいた更新式を用いる。このとき感度の計算は、支配方程式を必ずしも満たさない場の変数をもとに計算される近似的な値である。そこでこの手法を逐次感度近似法 (instantaneous Sensitivity Approximation method; iSA法) と呼ぶ。このように近似した感度を用いて設計変数を更新し解を得るが、このとき得られる解は必ずしも最適解ではない。本論文ではまずiSA法のアルゴリズムを構築し、それにより得られる解の性質について述べる。

次にiSA法を流れ場のトポロジー最適化問題に適用する。流れ場の数値計算法としては格子ボルツマン法 (Lattice Boltzmann Method; LBM) を用い、対象とする流れ場はまず遅い流れとする。遅い流れに適用する場合には、領域の表現方法として既存手法でも広く採用される多孔質媒体法を用いる。この手法は、設計領域が多孔質媒体で充たされていることを想定し、その空隙率を変数として最適化を行う手法である。数値計算例を用いて手法の

妥当性と計算速度について述べる．多孔質媒体法を用いる場合には流体領域と固体領域を明確に区別することが難しく，流体領域とも固体領域とも判別の難しい領域が存在することも示す．

次に設計変数の更新方法を改良し，部分的に目的関数のHesse行列を用いることでより良い収束速度になるように工夫する．Hesse行列が対角行列になるような定式化を行うことで，疎行列計算だけで最適化計算を実施し，計算時間をおさえる．Hesse行列を用いることにより，最適解近傍での収束速度が速くなる．数値計算例を用いて勾配法を用いる場合との収束速度の違いを述べる．また，勾配法を用いる場合には流体領域と固体領域の境界部分が明確でないという特徴があるが，Hesse行列を用いた場合には，両領域が視覚的に明確に判別できることを示す．

次にiSA法の適用対象をより速い流れに広げることを想定し，境界条件を適切に考慮した手法を構築する．多孔質媒体法では流体領域と固体領域が明確に区別されず，実際の流れを必ずしも模擬しない場合がある．これは特に早い流れにおいて顕著である．そこで多孔質媒体法ではなく，level-set関数を用いることで固体領域と流体領域を明確に区別してその境界上に壁面境界条件を適用する．壁面境界条件としては非滑り条件であるbounce-back法を用いる．その後，境界条件を適切に考慮した感度を定式化して最適化アルゴリズムを構築する．この方法では，最適化の過程で壁面が移動することにより，ある時点で固体領域であった領域を突然流体領域に変化させる必要が生じる．このような場合には，流れ場に不必要な乱れをひきおこさないために，格子点の初期化を行う手法を構築する．

最後に，工学的に重要な周期的な流れに適用対象を広げる．このとき，感度の計算に随伴変数法を用い，一周分の流れ場の変化を考慮したアルゴリズムを構築して最適化を行う．随伴変数法を用いることでより早い流れにおいても妥当な最適解を得ることができる．随伴変数法では，主変数を解いた後で，時間を逆行するようにして随伴変数を求める必要がある．このとき，随伴変数の計算には同じ時刻における主変数の情報が必要になる．したがって本手法を適用するためには計算時間と計算に必要な記憶容量が増大するという問題がある．そこで並列計算を行うことでこれらの問題を解決する．並列数を変えた計算を実施し，並列化による高速化率について述べる．

以上のように，本論文ではiSA法を構築し，それを様々な流れ場のトポロジー最適化に適用する．iSA法は計算時間が短いことが期待されるが，実施した数値計算例では実用上十分に短い時間で計算できる．特に遅い流れに対して多孔質媒体法を用いる場合には極端に短い時間で実施できる．iSA法により得られる解は必ずしも最適解ではないが，近似の度合いを大きく許容することで計算時間を短くすることができるという特徴がある．

3. 大きさはA4判とし4ページ以内、10ポイント程度の活字で印刷したものとしてください。

(日本語の場合は4,000字以内(英語の場合は2,000語以内)とする。)

4. 第1ページ上部に、タイトルを「論文の内容の要旨」とした上で、論文題目及び氏名を記入し、その下から内容の要旨を記載してください。

1. **Four copies of your thesis summary must be submitted in paper form. Electronic data of the thesis summary must also be submitted: a PDF file is mandatory, while submission of the original document file (MS Word or other) is optional.**
2. **If you are obtaining your Doctorate degree by submitting a thesis (as a Ronpaku), your thesis summary must be written in Japanese.** (If you are obtaining your degree by completing the course requirements of a Doctorate program, a thesis summary in English is acceptable.)
The thesis summary is formatted with **horizontal writing and single-sided print.**
3. The thesis summary is to be printed on **A4-size paper** and digested into **four pages or less** using **approximately a 10 point type.**
(The restriction is **4,000 characters** for a Japanese summary and **2,000 words** for an English summary.)
4. **In the upper part of the first page, the text “論文の内容の要旨” is typed and the title of the thesis and the name of the applicant are typed on subsequent lines. The main text of the thesis summary begins below the above heading section on the same page.**