

13. 構造形態の創生における IESO 法と BESO 法の性能比較に関する研究

1510920051 明石凌平
指導教員 藤井大地 教授

位相最適化, BESO 法, IESO 法, 構造形態創生

1 はじめに

ボクセル有限要素法を用いた位相最適化手法は、力学的合理性を有する建築構造形態を創生する方法として、近年注目されている。本研究室では、長年にわたってこのような手法の開発を行っており、当初は、最適化手法として数理計画法にもとづく HDM 法や SIMP 法が用いられていたが、最近では、進化的構造最適化手法である ESO 法を改良した IESO 法¹⁾が用いられている。この IESO 法を用いた方法は、解析パラメータが少なく、要素除去率と感度計算時の影響半径を適当に与えることでほぼ確実に境界形状が滑らかで洗練された形態が得られることが確かめられている¹⁾。また、設計領域全体に物体力を与える問題以外は、除去要素の材料密度を完全に 0 にすることができるため、要素除去が進むにしたがって計算効率がよくなるというメリットも備えている。しかしながら、このようなメリットは、SIMP 法に対しては十分に検証がなされているが、同じ進化的手法である BESO に対しては十分な比較検証がなされていない。

そこで本論文では、文献 2) に示される BESO 法の計算手法にもとづき IESO 法と同条件の BESO 法プログラムを独自に開発し、IESO 法と BESO 法との比較により、IESO 法の有効性を再検証する。

2 IESO 法と BESO 法の違い

BESO 法は、構造最適化の進化過程で要素の除去のみを行う ESO 法を改良し、進化の各ステップで要素の付加と除去を繰り返すようにした方法である。また、初期の ESO 法では、要素除去を行う感度指標として応力を用いていたが、文献 2) の BESO 法では、感度指標として目的関数の正式な感度（要素ひずみエネルギーの 2 倍）が用いられている。また、文献 2) では、要素感度の計算に、SIMP 法と同様のフィルタリング法が用いられており、得られる解形態も SIMP 法とほぼ等しくなっている。

これに対して IESO 法は、初期の ESO 法と同様に進化過程で要素の除去のみを行う方法で、この点が BESO 法と大きく異なっている。ただし、IESO 法の仕上げ過程では、CA 法による要素付加と IESO 法による要素除去を繰り返すため一見同じように見えるが、CA 法と IESO では、個別の解析の感度を用いており、BESO のように同じ感度によって要素除去と付加を行っていない点で本質的に

異なる。また、ESO 法・BESO 法と IESO 法の違いは、ESO 法・BESO 法の進化過程の除去率は一定であるのに対して、IESO 法では、進化過程の除去要素数が、全要素の感度平均と標準偏差から計算された閾値によって決められるため一定ではない。また、IESO 法では、各ステップの除去要素数は、与えられた除去率に残存要素数を掛けたもので計算されるため、進化のステップが進むほど除去要素数は少なくなる点も異なっている。ただし、文献 2) のフィルタリング法は、IESO 法でも採用しており、これは BESO 法と同じである。なお、このフィルタリング法は、まず要素感度を節点感度に変換し、次に要素中心から影響半径内の節点感度の重み付き平均により要素感度を計算するもので、影響半径を大きくすることでよりシンプルな形態を得ることができる。ただし、IESO 法では要素付加を行わないため、BESO で行われている要素感度を前ステップと現ステップの平均値から計算する方法は採用していない。

3 解析例

Fig. 1 は、縦横比 1:1.6 の片持梁の右端中央下方に鉛直荷重を加えた問題の結果を IESO 法と BESO 法で比較したものである。ただし、分割数は $80 \times 50 \times 2$ 、フィルタリングの影響半径は要素長の 3 倍、除去率（付加率）は図に示すとおりである。図より、IESO 法は、BESO 法に比較して最適化パラメータの依存性が小さいことがわかる。

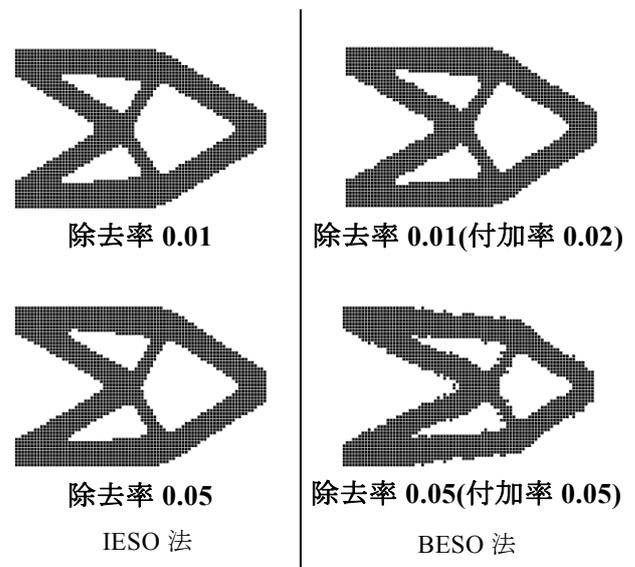


Fig.1 IESO 法, BESO 法の解の比較

次に、Fig.2 に示す単純梁モデルの解析結果を比較したものが Fig.3 である。ただし、分割数は $240 \times 40 \times 2$ 、フィルタリングの影響半径は要素長の 3 倍、除去率(付加率)は図に示すとおりである。図より、IESO 法では、どのような除去率に対しても明解な解が得られるが、BESO 法では、除去率は 0.05 以下にしないと明解な解が得られないことがわかる。

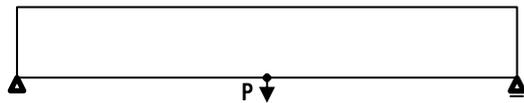


Fig.2 単純梁モデル

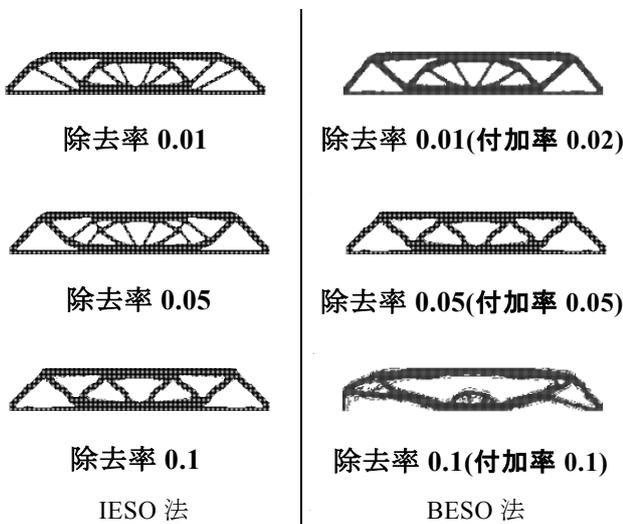


Fig.3 IESO 法, BESO 法の解の比較

最後に、Fig.4 に示す橋梁モデルの解析結果を比較したものが Fig.5 である。ただし、分割数は $200 \times 103 \times 50$ 、フィルタリングの影響半径は要素長の 1 倍、目標残存要素数は分割数の 8%、除去率(付加率)は、図に示すとおりである。図より、IESO 法は、どのような除去率に対しても安定して明解な解が得られるが、BESO 法は、除去率と付加率をうまく調整しないと明解な解が得られないことがわかる。

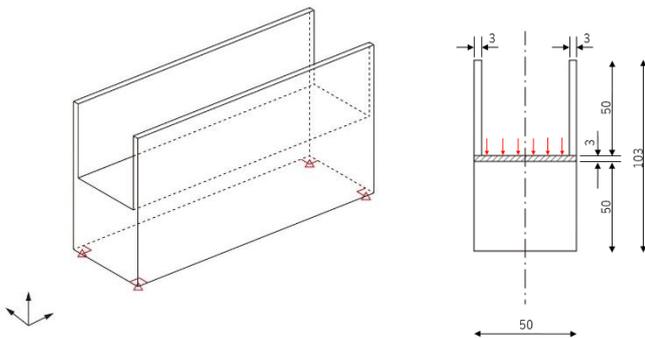


Fig.4 中路橋モデル

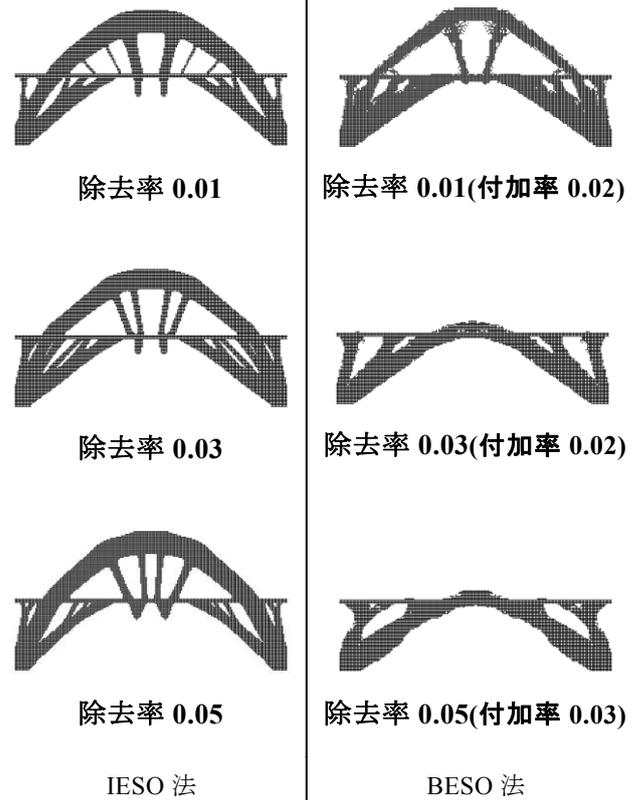


Fig.5 IESO 法, BESO 法の解の比較

4. まとめ

本論文では、IESO 法と BESO 法を比較することにより、IESO 法の有効性を再検証した。その結果、IESO 法では、どのような除去率に対しても明解な解が得られるのに対して、BESO 法では、問題によって除去率と付加率をうまく調整する必要があることがわかった。したがって、IESO 法の最も大きなメリットは、どのような最適化パラメータを与えても明解な解形態が安定的に得られることにありと云える。

参考文献

- 1) 新内洋平, 松本慎也, 藤井大地 : IESO 法を用いた建築構造の形態創生 鉛直荷重と地震荷重に抵抗する建物の自然形態, 日本建築学会構造系論文集, Vol.82, No.731, pp.97-103, 2017.1
- 2) X. Huang, Y. M. Xie : Convergent and mesh-independent solutions for the bi-directional evolutionary structural optimization method, Finite Elements in Analysis and Design 43 (2007) 1039-1049