

17. CA-IESO 法を用いた位相最適化に関する研究

1610920055 清水満喜子

ボクセル有限要素法, CA-IESO 法, 3次元解析, 位相最適化

指導教員 藤井大地 教授

1. はじめに

藤井ら¹⁾は, ボクセル有限要素法を用いた位相最適化手法として, IESO (+仕上アルゴリズム) を提案し, 力学的合理性を有する多様な建築構造形態を創生できることを検証している. 本手法は, ボクセル分割された固定直方体領域内に, 設計対象領域を設定し, その設計対象領域の要素を徐々に除去する(材料密度を0にする)ことで最適形態を求める方法である. したがって, 本手法では, 初期の設計対象領域は大きく設定され, そこから不必要な部分を除去することで最適形態が求められる. 一方で, 三井²⁾のCA法のように, 少ない要素数で初期形態を設定し, そこから付加・除去を繰り返して最適形態に進化させる手法もある. このような手法では, ほぼ最適化の目標要素数以下で解析が可能であるため, 特に3次元問題では, 計算効率を改善できる可能性がある. しかしながら, CA法では, 局所最適解に収束するケースが多く, 3次元問題に適用した研究は少ない.

そこで, 本研究では, CA法の付加アルゴリズムとIESO法を組み合わせることで, 最適化の目標要素数以下の初期形態から解析を進めて最適形態を求める新たな位相最適化手法(CA-IESO法)を提案し, その有効性を検討する.

2. CA-IESO法の概要

CA-IESO法は, 基本的には, IESO法¹⁾の仕上アルゴリズムと同じである. すなわち, CA法では, 当該要素のひずみエネルギーが残存要素の平均値以上である場合に, その要素のノイマン近傍要素(面を共有する要素)の密度を1にして要素を付加する. また, IESO法では, 残存要素のひずみエネルギーの平均値と標準偏差から計算される閾値以下の要素を除去する. これを応力解析の各ステップで繰り返す. ただし, 本方法では, BESO法と異なり, 1回の応力解析で付加と除去を同時に行うことはなく, 最適化の目標体積に達するまでは, 付加あるいは除去が一方向的に繰り返される. なお, IESO法の仕上アルゴリズムは, IESO法で得られた形態の微修正を行うもので, 付加率と除去率は0.01程度の小さい値としていたが, CA-IESO法では, 0.05程度の大きな除去率と0.05~0.2程度の大きな付加率を与える. ただし, CA-IESO法においても, 最適形

態に近づいた場合には, 仕上アルゴリズムと同様の微修正が効果的であるため, 開発したプログラムでは, 最適化の全ステップ数と仕上を開始するステップ数を与え, 付加率・除去率も, 通常の進化過程と仕上過程で別々に与えるようにしている.

3. 解析例

提案手法の有効性を検証するために, IESO法で求められる解との比較を行う. 図1~図4の解析例では, 解析モデルの薄いグレーの領域がCA-IESO法の初期形態, 薄いグレーと濃いグレーを合わせた領域がIESO法の初期形態を示す. また, 図中の λ_E , λ_A は, CA-IESO法の進化過程の除去率と付加率, λ_E^f , λ_A^f は, CA-IESO法の仕上過程の除去率と付加率を表す. また, V_r , b_r は目標要素数比と影響半径倍率, C/C^0 はコンプライアンス比を表す¹⁾. ただし, C^0 は, IESO法の初期解のコンプライアンス値を示す. また, 比較に用いるIESO法の除去率も λ_E とし, IESO法の仕上過程は省略するものとする.

図1~図4は, 既往の文献で示されている基本的な例題の解析モデルとIESO法, CA-IESO法の解析結果の比較を示している. 図より, いずれの収束解も類似した形態が得られており, CA-IESO法の解が局所最適解に陥らないことがわかる. また, いずれの場合も, CA-IESO法の収束解のコンプライアンス比は, IESO法の値よりも低い値となっており, 提案手法の有効性が検証できている.

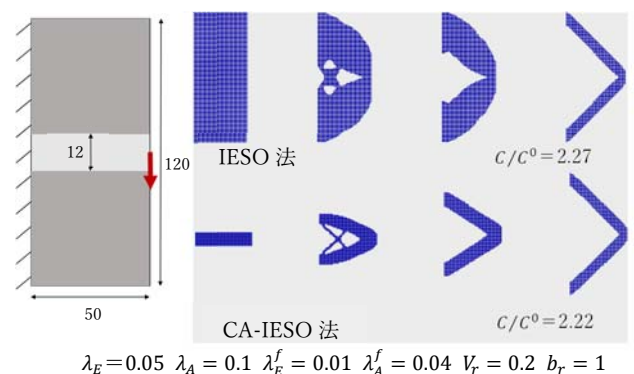


図1 解析例1の解析モデルと解析結果の比較

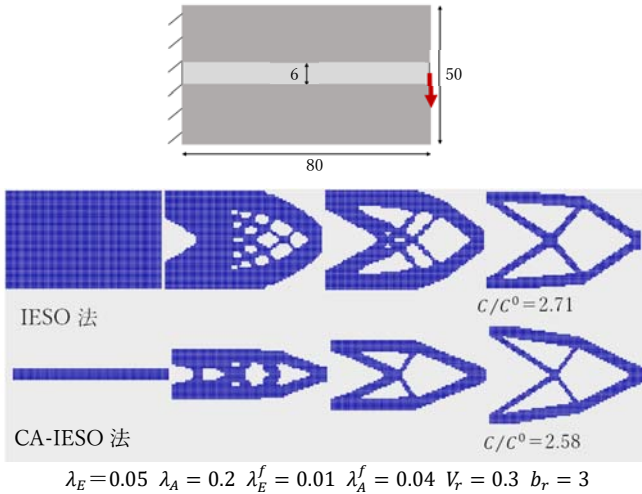


図2 解析例2の解析モデルと解析結果の比較

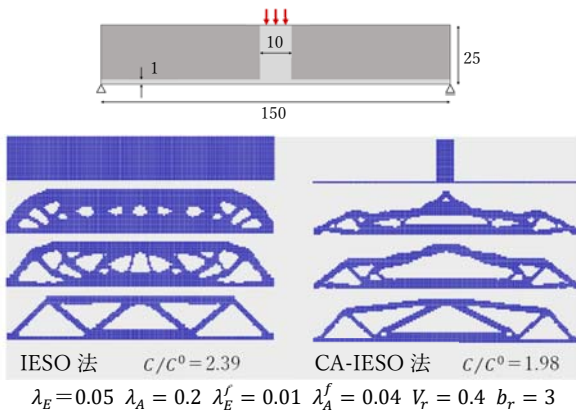


図3 解析例3の解析モデルと解析結果の比較

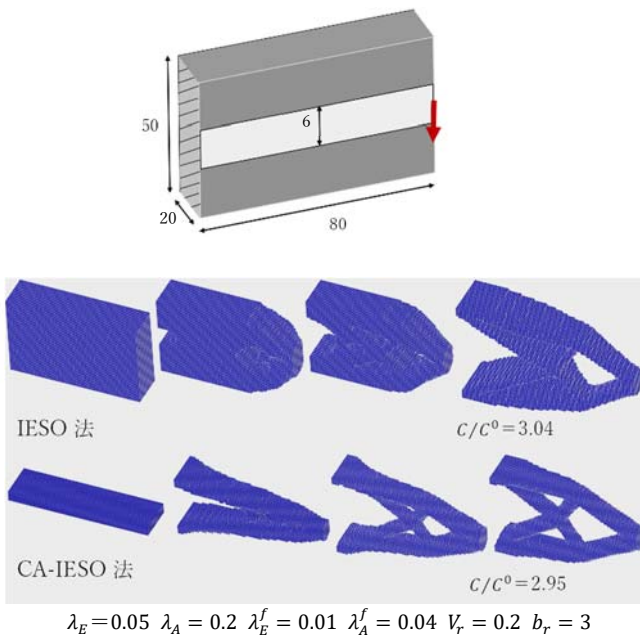


図4 解析例4の解析モデルと解析結果の比較

図5は、CA-IESO法による建築構造の形態創生の有効性を検証するため、鉛直等分布荷重とその0.2倍の水平荷重（地震力）が加わる床スラブを一本の垂直な柱で支える構造を進化させて、床スラブを支える最適な構造形態を求めたものである。なお、この場合も、比較解としてIESO法による結果も示している。図に示すように、CA-IESO法では、樹木が根を張るような形で進化し、収束形態も有機的な形態になっていることがわかる。

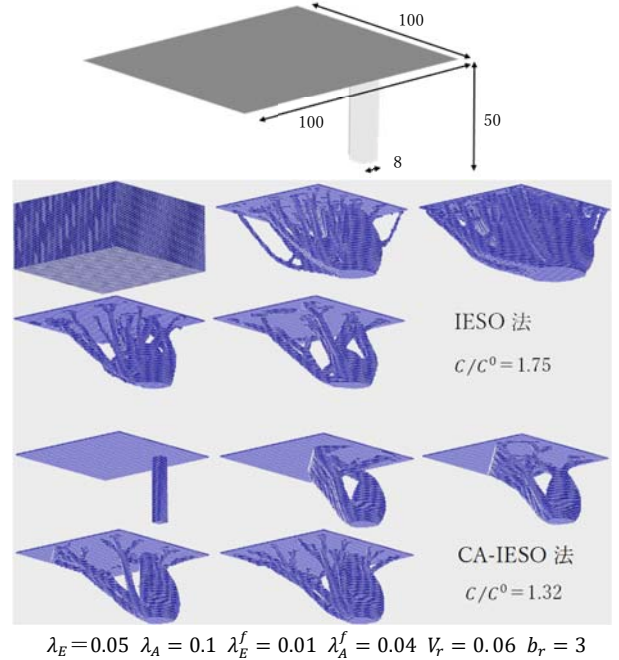


図5 解析例5の解析モデルと解析結果の比較

4. まとめ

本論文では、CA法の付加アルゴリズムとIESO法を組み合わせたCA-IESO法を提案し、その有効性を検討した。その結果、基本的例題では、IESO法の結果と類似した最適形態が得られ、局所最適解に陥ることはないことがわかった。また、鉛直荷重と地震力が加わる床スラブを支える最適形態を求める解析では、初期解から有機的な進化を遂げ、樹木が根を張るような形態が得られることがわかった。

以上から、本方法は、初期解を設計者が設定し、その進化過程をコントロールすることで、より設計者の意図を反映させた解析が行える手法であることが検証された。

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) 三井和男: セルオートマトンによる構造システムの自律的生成と最適化, 日本建築学会構造系論文集, No.555, pp.101-105, 2002.5