

26. CA-IESO法の感度指標と創生形態の関係に関する研究

1710920027 小林広樹
指導教員 藤井大地 教授

ボクセル有限要素 CA-IESO法 構造形態解析 感度指標

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3次元の設計領域から自由な形態を創生できる手法として、ボクセル有限要素法を用いた位相最適化手法がある。藤井ら¹⁾はこのような手法を用いて固定設計領域に要素数の少ない単純な初期形態を設定し、そこから進化させて最適解を得る方法を提案している。ところで、このようなボクセル解析法を用いた位相最適化では感度指標が一様ではない。BESO (Bi-directional Evolutionary Structural Optimization) 法でも、Querinらは、固定設計領域に要素数の少ない単純な初期形態を設定し、そこから進化させて最適解を得る方法を提案している。また、三井²⁾も、CA (Cellular Automaton) 法で、同様の初期形態から進化させて最適解を得る方法を提案している。ただし、これら2つの方法は、進化の感度指標として相当応力 (Von Mises stress) を用いている。その後、BESO法は、進化の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) を用いる方法に発展しているが、要素数の少ない単純な初期形態から進化させる方法は用いられていない。これは、要素数の少ない単純な初期形態から出発すると、局所最適解に陥る可能性が高いためと考えられる。そこで藤井ら¹⁾は、初期要素数の少ない状態や設計意図を含んだ形態からの位相最適化が行えるようIESO (Improved ESO) 法と、CA法を組み合わせたCA-IESO法を提案し、その有効性を検証している。一方で位相最適化に用いられる感度指標はひずみエネルギーや強度理論からなる応力を使われるがCA-IESO法において感度指標と創生形態の関係性についての検証は行われていない。そこで本論文では強度理論に基づいた応力を感度指標に設定することで得られる創生形態とひずみエネルギーをもとにしたコンプライアンス比を比較することで感度指標と創生形態の関係性について解明したい。

2. 感度指標の概要

感度指標とは形態創生において形態を創生するための基準となる力学的特性を式として示したものと基準となる物性値のこと。本論文ではCA-IESO法¹⁾の感度指標として用いられている要素ひずみエネルギー、Von Mises 応

力、Tresca 応力、主応力に置き換え、創生形態の特性の変化を解析する。

Von Mises の応力とは物体内に生じる応力を単一の値で示すために用いられる相当応力であり、せん断ひずみエネルギーに比例する相当応力である。等方性材料の降伏条件として用いられることが多く、静水圧応力状態では0である。Von Mises の応力は次式で表される。

$$\sigma_y = \sqrt{\frac{1}{2}[(\sigma_x - \sigma_y)^2 + (\sigma_y - \sigma_z)^2 + (\sigma_z - \sigma_x)^2 + 6(\tau_{xy}^2 + \tau_{yz}^2 + \tau_{zx}^2)]^{\frac{1}{2}}}$$

Tresca の応力は最大せん断応力の2倍であり次式の中で最大となるものを指標として用いる。

$$f_1 = \frac{1}{2} \left[(\sigma_x + \sigma_y) + \sqrt{(\sigma_x - \sigma_y)^2 + 4\tau_{xy}^2} \right] - \sigma_z$$

$$f_2 = \frac{1}{2} \left[(\sigma_x + \sigma_y) + \sqrt{(\sigma_x - \sigma_y)^2 + 4\tau_{xy}^2} \right] + \sigma_z$$

$$f_3 = \sqrt{(\sigma_x - \sigma_y)^2 + 4\tau_{xy}^2}$$

主応力とは方向を持った応力である。今回は解析モデルが2Dモデルなので次式より平面応力状態として主応力を求めた。

$$\sigma_1 \geq \sigma_2 \quad \sigma_{1,2} = \frac{(\sigma_x \pm \sigma_y) \pm \sqrt{(\sigma_x - \sigma_y)^2 + 4\tau_{xy}^2}}{2}$$

3. 解析例

図1の解析モデルをCA-IESO法の感度指標を要素ひずみエネルギー、Von Mises 応力、Tresca 応力、主応力にした場合の解析結果。創生形態の変形過程と感度指標分布を可視化するため図2の色を使い配色した結果から性質を分析する。図1の解析モデルの濃い灰色の部分は設計領域、薄い灰色の部分は初期設計要素、 \bar{V}_r は目標要素数、 λ_E , λ_A , b_r は、CA-IESO法の進化過程の除去率と付加率と影響半径倍率、 λ_E^f , λ_A^f , b_r^f は、CA-IESO法の仕上過程の除去率と付加率と影響半径倍率、 C/C^0 はコンプライアンス比のことでありひずみエネルギーに基づく剛性を表す評価基準である。コンプライアンス比が小さいほど剛性が高いものである。統一するパラメーターを次に示す。
 $\bar{V}_r = 0.4$ $\lambda_E = 0.02$ $\lambda_A = 0.2$ $b_r = 1.5$ $\lambda_E^f = 0.01$
 $\lambda_A^f = 0.02$ $b_r^f = 1$



図1 MBB 梁解析モデルと感度分布の配色

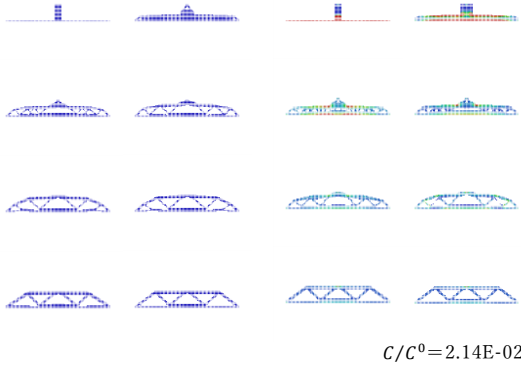


図2 要素ひずみエネルギー感度指標の解析結果

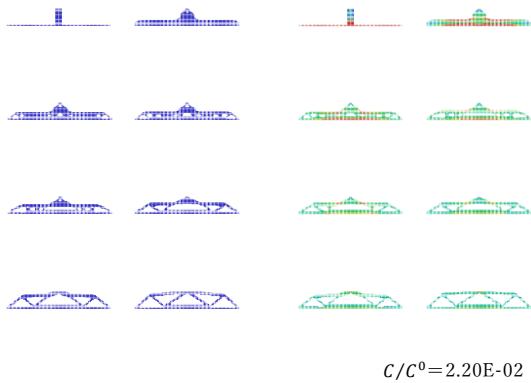


図3 Von mises 応力感度指標の解析結果

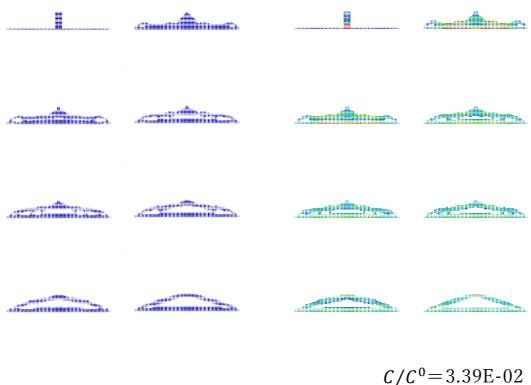


図4 Tresca 応力感度指標の解析結果

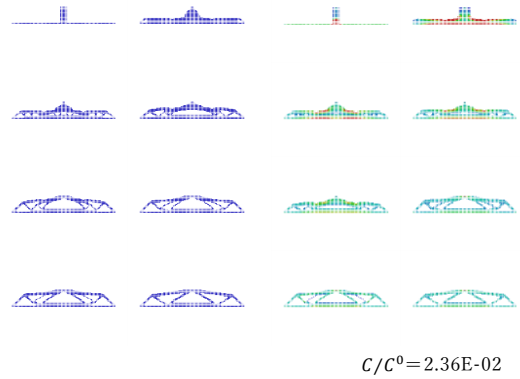


図5 主応力感度指標の解析結果

4. まとめ

本論文では、CA-IESO 法を用いて各感度指標の創生形態の性質について検証した。その結果、CA-IESO 法においてひずみエネルギーを感度指標とすると感度指標分布が低いほうに偏りがあるが、変化形態の過程に細かいトラス部位が現れていることから感度指標分布がせん断エネルギーに偏っていないと考えられる。また、変化形態の過程にアーチのような曲線が表れていることからなだらかなエネルギー分布が示されていることが分かった。Von Mises 応力を感度指標とすると感度指標分布に偏りが少なく、変形過程に大きなトラス部位が多くせん断応力に偏りがあるが軸力も解析できていることがわかった。Tresca 応力を感度指標とすると感度指標分布が高いほうに偏り、変形過程に細かいトラス部位が表れないことから軸力は解析できない事が分かった。主応力を感度指標とすると、感度指標分布は偏りが少なく、変形過程に細かい部材も多く確認できることからなだらかな応力分布が起きているということが分かった。

このことからCA-IESO 法と感度指標の関係は個々に特性が出るということが検証できた。またこの特性から意図的に合理的な形態創生が可能になると考えられる。

参考文献

- 1) 清水満喜子, 藤井大地: CA-IESO 法を用いた位相最適化に関する研究, 令和元年度 近畿大学工学部建築学科卒業研究, pp.33-34, 2019.2
- 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