

X-means法を用いたACTOの
幾何学的制約条件の改善

Improvement of Geometric Constraints of ACTO Using X-means Method

羽鳥凌平¹⁾, 沖山颯²⁾, 星七海²⁾, 長谷川浩志²⁾

Ryohei Hatori, Sou Okiyama, Nanami Hoshi and Hiroshi Hasegawa

- 1) 芝浦工業大学 大学院理工学研究科 システム理工学専攻 (〒337-8570 埼玉県さいたま市見沼区深作307)
2) 芝浦工業大学 システム理工学部 (〒337-8570 埼玉県さいたま市見沼区深作307)

In a structure design, it is important to achieve both strength and weight reduction. To achieve both, Ant Colony Optimization (ACO), a swarm intelligence algorithm inspired by the foraging behavior of ants in nature, is applied for topology optimization. Topology optimization is one of the structure optimization methods, and by taking phase as a variable, it is the structural optimization method with the highest degree of freedom. In this study, topology optimization of mechanical structures is performed by using ant colony optimization, and clustering is applied to introduce not only stress constraints but also new geometric constraints.

Key Words : Topology optimization, Ant colony optimization, X-means clustering

1. はじめに

構造設計では、強度と軽量化の両立が必須となるため、様々なトポロジー最適化手法^[1]が研究されてきた。ここでは、星らのAnt Colony Topology Optimization(ACTO)^[2]に対して、X-means法によるクラスタリングを用いた幾何学的制約条件を導入し、応力制約下でのミーゼス応力と主応力を考慮し体積最小化を試みる。ここで得られた知見を報告する。

2. Ant Colony Topology Optimization

Ant Colony Topology Optimization(ACTO)とは、ACO^[3]をトポロジー最適化に応用したものである。

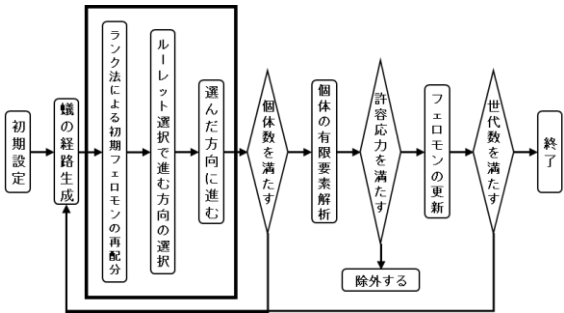


図1 本手法のプロセス

ACTOは、図1のフローチャートに示すように、初めに蟻の歩数、匹数、個体数、世代数をパラメータとして初期設定を行う。つぎに解析対象の最大主応力、最小主応力ベクトルおよびミーゼス応力を有限要素解析により取得する。取得したミーゼス応力を初期フェロモン分布として設定することで、蟻が経路を選択する。生成された経路が

ら個体を作成し、個体に対して、有限要素解析を行う。この時、許容応力を満たす個体の情報のみをフェロモンへ反映し、世代数を満たすまで繰り返し最終レイアウトを決定していく。なお、経路生成はランク法およびルーレット法を用いて行う。

3. 解析条件

本研究では、体積最小化問題を扱う。体積 V 、密度関数を ρ とすると式(1)で表される。また、最大応力を σ^{max} 、許容応力を σ^{allow} とし、制約条件を式(2)に示し、安全率を2.0とする。解析モデルを図2、解析パラメータの初期設定を表1に示す。同一設計領域の蟻の匹数は10匹とする。また、最大主応力を考慮している蟻は3匹、最小主応力を考慮している蟻は3匹、無考慮を4匹とする。最大主応力を考慮することで引張応力を、最小主応力を考慮することで圧縮応力を構造最適化アルゴリズムに反映することができる。また、蟻のスタート位置、蟻の終了位置は図2のとおりである。このときの最終フェロモン分布を図3、最終構造を図4に示す。

$$V(\rho) = \int_s \rho ds$$
 (1)

$$\sigma^{max} < \sigma^{allow}$$
 (2)

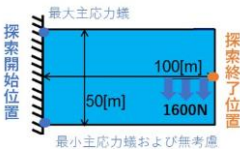


図2 解析モデル

表1 初期設定：解析パラメータ

メッシュ分割縦	25 分割
メッシュ分割横	50 分割
世代内個体数	10 個体
同一設計領域の蟻の匹数	10 匹
世代数	200 世代
フェロモン蒸発係数	0.95

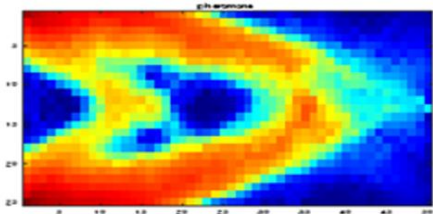


図3 最終フェロモン分布

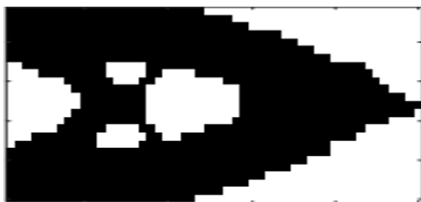


図4 最終構造

4. X-means法によるクラスタリング

星らのACTOでは、応力制約のみで更新される個体を制限していた^[2]。そのため、構造に関係なく応力制約を満たすすべての個体が次世代に引き継がれてしまい、最終構造の体積が大きくなる現象や構造として適さない個体の導出が見られた。

本研究では、X-means法^[4]を用いた個体のクラスタリングを行う。このクラスタリングにより個体を分類し、更新式に加味することで最終構造の軽量化や構造として適さない個体の排除が可能になる。X-means法によるクラスタリングでは、世代内個体の構造形状の特徴ベクトルを用いてクラスタリングを行った。特徴ベクトルは、構造形状（材料ありの要素を1、材料なしの要素を0）の外周部分を除く内側（緑色内）のピクセルに注目し、8近傍のピクセルの平均値により構成される。図5の世代内個体の構造形状の場合には、特徴ベクトルは、Vector=(0.875, 0.750, 0.875, 0.500, 0.500, 0.500)となる。なお、赤いピクセルの8近傍の平均値は0.875である。

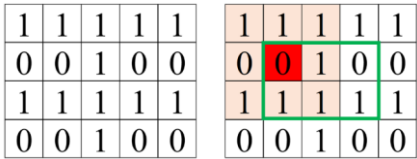


図5 特徴ベクトルの作成の例

全 2,000 個体を X-means 法によるクラスタリングを行い、その結果を図 6 に示す。

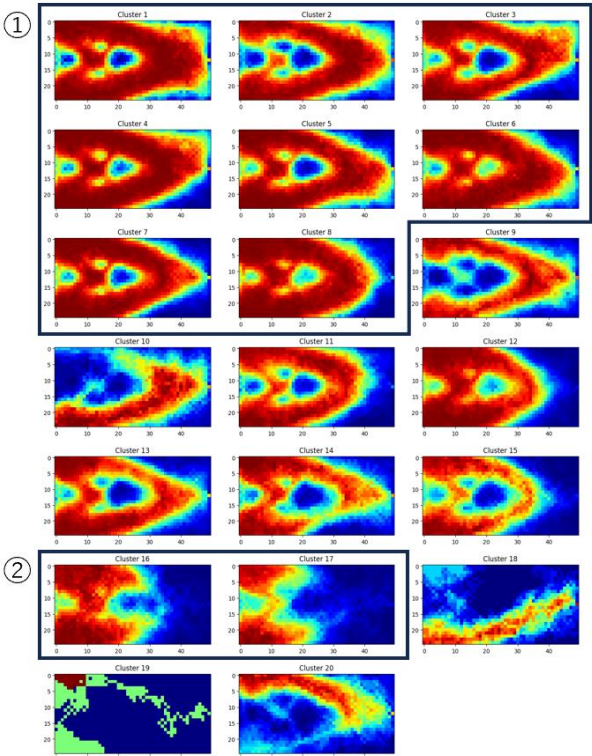


図6 X-means法によるクラスタリングの結果

この図からわかるようにX-means法によりクラスタ数が20に分類された。このクラスタのうち①クラスタ1から8までは図4の最終構造に近似した形状になっているが、それ以外のクラスタでは不備がみられる。特に②クラスタ16やクラスタ17では、探索開始位置地点で蟻が不要なループを描いてしまうアントミル現象が発生し、蟻が探索終了地点まで到達できていない。また、上側または下側のみしか構造が導出されていないクラスタも存在する。そこでX-means法によるクラスタリングを用いることで、これらのクラスタに分類された個体を排除することで、より適切な最終構造が導出されると考えられる。

5. 今後の展望

今後は、X-means法によるクラスタリングで導かれたクラスタの評価法を考案し、それによるフェロモンの更新式の改善を行う。

参考文献

[1] 西脇眞二, 泉井一浩, 菊池昇, 計算力学レクチャーコース トポロジー最適化, 丸善出版株式会社, 2013.

[2] 星七海, 長谷川浩志: ACO の経路選択手法を利用した機械構造物のトポロジー最適化, 計算工学講演会論文集, Vol.22, 2017.

[3] Camp, C.V., Bichon, B.J., & Stovall, S.P : Design of steel frames using ant colony optimization, Journal of Structural Engineering, 131(3), 2005, 369-379.

[4] 石岡恒憲: クラスタ数自動決定する k-means アルゴリズムの拡張について, 応用統計学 Vol.29, No3, 2000.