

(18) 遺伝的アルゴリズムを用いた環境の変化による構造物の変遷に関する研究

A Study on the Transition of Structural Topology
under Environmental Changes by Applying the Genetic Algorithms

山川 宏* 稲川 智一**

Hiroshi YAMAKAWA Tomokazu INAGAWA

Structures, being used for a long time, have been modified adapting to the changes of environment, and then have taken the present shape. For a long time, since lives were born on the earth for the first time, they have been influenced by environment and have experienced evolutions. It is observed that structures are also influenced by various environment like rain and wind. In this study, in view of this point, we propose a method to simulate the transition of 2-dimensional structural topology against environmental changes. We consider "wind, snow load, loosen of the ground, and heat" as the environment. We made scenarios of changing environment, and we gave them to structures following scenarios. From numerical examples, we observed the transition of structural topology and discussed them.

Key Words :Optimum Topology Problem, Genetic Algorithm, Transition of Structural Topology

1. 緒 言

長期間にわたって使用されている各種の構造物は、環境の変化に応じて構造の修正等が施され、現状の構造となっている。生物に目を転じてみると、地球上にはたくさんの生物が存在しており、それを取りまく環境は多種多様である。そして、その環境は時間と共に移り変わっていく。生物はこのような多種多様で時々刻々変化する環境にうまく適応できるよう、構造や性質を変化させ続け現在の様な形態をとるようになったと考えられる。このような考え方は、いわゆる進化論と呼ばれる考え方である。構造物もまた生物と同じように、風雨、地震、太陽光による熱などの様々な環境にさらされており、その環境も季節や場所等により異なっており、各々の置かれている環境に適応するように設計が施されているものと考えられる。そこで、本研究では、進化論にヒントを得、構造物に環境の変化を時系列的に与えて、それに適応するような構造の位相がどのように変化するのかを遺伝的アルゴリズムによってシミュレートし、得られた結果に基礎的な検討を加えることを目的とする。

筆者らは先に、遺伝的アルゴリズムを用いて2次元構造物の最適トポロジーを求める手法を提示した⁽¹⁾。提示した手法は、有限要素法の各長方形要素の板厚に遺伝子を対応させて、遺伝的アルゴリズムへの適応をはかるというものであった。そして、その手法をあらかじめ最適形状が予測できるような構造物に適用した

* 工博 早稲田大学教授 理工学部機械工学科 (〒169 新宿区大久保3-4-1, hiroshi@yamakawa.mech.waseda.ac.jp)

** 工修 トヨタ自動車

結果、既存の方法とほぼ同様な結果が得られその有効性が確認された。

本研究では、先に提示した遺伝的アルゴリズムを用いて位相を決定する手法を構造物の位相を進化させる部分に適用した。ここで、進化をシミュレートするために環境の変化に関するシナリオを与え、与えられたシナリオの時間経過にそって、先に提示した位相決定法を用いて位相の変遷のシミュレーションを行った。その結果、構造物の位相が環境に適応しながら変遷していく様子を観察することができた。また、その結果を基に検討を加えた。

2. 遺伝的アルゴリズム

ここでは、ごく簡単に遺伝的アルゴリズムに関する基本事項をまとめ、一般に最適化問題に対応する方法を示す。

2.1 遺伝的アルゴリズムの基本事項

遺伝的アルゴリズムは生物の進化のメカニズムを模倣した探索アルゴリズムの1種であり、組合せ最適化問題に適したアルゴリズムであると考えることができる。ここでは、遺伝的アルゴリズムについての基本的操作等(5)について簡単に触れる。

- 1) m 個の個体からなる初期生物集団 P_0 をつくる。 ($t=0$) (初期化)

$$P_0 = \{C_1, C_2, \dots, C_m\}^T$$

- 2) P_t の中から任意の2組を選び、交叉によって新しい個体を作り P_t に組み入れる。 (繁殖)

$$P_t = \{C_1, C_2, \dots, C_m, C_{m+1}, \dots, C_{m+k}\}^T$$

- 3) P_t の各個体に対してある生起確率で、遺伝子の一部を他の任意の要素に置き換える (突然変異)。
- 4) P_t の各個体 C_i の適応度 $f(C_i)$ を計算する。集団としての平均適応度を考慮にいれて、各個体の選択確率を決定し、これに基づいて m 個の個体を選択し、次世代の生物集団 P_{t+1} とする。 ($t=t+1$ とし 2) へ

遺伝的アルゴリズムにおいて問題とされるのが、遺伝子の表現である。ここでは、その注意点のみを列記する。

- 1) 冗長性の排除

1つの遺伝子と1つの解とが1対1対応である。

- 2) 致死遺伝子の抑制

交叉による致死遺伝子の生成が抑制されること。

- 3) 形質の遺伝

交叉によって生成される子は両親の形質を適切に継承できること。

2.2 遺伝的アルゴリズムの最適設計問題への対応

制約条件下で目的関数を最小とする設計変数を求める一般的な最適設計問題の定式化を下記に示す。

$$\text{Find } x = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$$

$$\text{to minimize } f(x)$$

$$\text{subject to}$$

$$g_j(x) \leq \hat{g}_j \quad (j=1, 2, \dots, M)$$

ここで、は制約条件の許容値を表すものとする。また式(1)の目的関数と制約条件を単一の式に統合するため、ペナルティ関数を用いて統合された目的関数 $p(x)$ に対応させる。

$$p(x) = f(x) + \sum_{j=1}^M r_j \cdot P(g_j(x)) \quad (2)$$

ここで、

$$P(g_j) = \begin{cases} 0 & \text{for } g_j(x) \leq \hat{g}_j \\ \frac{g_j(x) - \hat{g}_j}{\hat{g}_j} & \text{otherwise} \end{cases}$$

また、 r_j はペナルティの大きさを表す任意の値をする。そして、この統合された目的関数 $p(x)$ を適応度にさせればよい。Pの関数を上式のようにしたのは大きさの異なる制約条件を同じ重みで評価するためである。

3. シミュレーション手法について

3. 1 最適化の領域について

本研究では簡単のため2次元弾性体構造を対象とし長方形要素を用いた有限要素法解析に基づいてシミュレーションを行う。最適化の領域は事前に設定した平面要素の領域と一致する。

3. 2 設計変数について

設計変数としては、長方形要素に分割した各要素の厚み t_k をとることにする。遺伝的アルゴリズムが基本的に組合せ最適化問題に適していることから、設計変数のとりうる値をいくつかの段階に分けて、そのステップ値をとるものとする。こうすることによって遺伝的アルゴリズムの染色体のコード化における注意点は避けられるものと考えられる。すなわち、

$$t_k \in \{T_1, T_2, \dots, T_L\} \quad (3)$$

ただし、 $T_1 < T_2 < \dots < T_L$ とする。

3. 3 環境の表現方法

構造物を取りまく環境として、「風、積雪、熱、地盤の緩み」などの荷重および境界条件の変化を考える。環境の表現方法を表1に示す。

表1 環境として与える荷重のモデル

Wind	apply static loads from the side
Heat	heat one side of a structure
Snow load	apply static loads from upside
Loosen of the ground	change some constraint nodes to free nodes

3. 4 構造の位相の決定方法

表1で表現された環境が与えられたときの構造物のエネルギー状態を有限要素法を用いて計算する。構造物の各要素中で最もひずみエネルギーの大きなものが制約値を超えない範囲で、質量を最小化するように構造の位相を決定する。

この過程には生物の進化を模倣した遺伝的アルゴリズムを用い、遺伝子を有限要素法の各四角形要素の板厚に対応させる。制約条件下で目的関数を最小とする設計変数を求める。表2に最適設計の具体的な緒量を示す。

表2 最適トポロジーと遺伝的アルゴリズムの対応

structures for analysis	topology optimization problem	genetic algorithm
mass	objective function $f(x)$	fitness function
stress strain energy	constraints g_j	add penalty function to fitness function
thickness of a board	design variables X	genes

3.5 環境の変化に適応する構造物のシミュレーション

構造物に時系列的に環境を順次に与えて、上記の遺伝的アルゴリズムで構造の位相を決定し、その変化（設計の進化）を検討する。また、環境が変化した場合、前の環境で得られた形状を遺伝的アルゴリズムの集団の中に残しておき、前の段階の影響を考慮している。このようにして、単独で環境を与える結果と異なり、前の環境に関してもある程度適応能力がある位相を生成できるものと考えられる。

なお、風が当たる部分や、雪の積もる部分は、設定領域の端ではなく、板厚の厚い部分の端、すなわち残った位相の端とする。

4. 数値計算例

一例として、縦、横1mの設計領域にある2次元の板構造物に環境を順次に与え、上記の方法でシミュレーションを行った結果、構造物の位相が変化していく様子を観察することができた。

板厚は、厚い部分を $1.0 \times 10^{-2} \text{m}$ 、薄い部分を $1.0 \times 10^{-4} \text{m}$ としている。

環境を与える順番と、シミュレーションの世代数をシナリオとして図1、4に示す。そのときの、構造物の位相の変化の様子（各環境変化の際の適応度の最小値を示す位相）を図2、5に示す。色の濃い部分が得られた位相である。適応度の変化の様子を図3、6に示す。

結果を見ると、このシナリオでは位相の著しい変化は見られず、各段階で得られた位相が、環境が変わっても引き継がれている様子が観察された。この他様々の数値計算結果について検討を加えた。

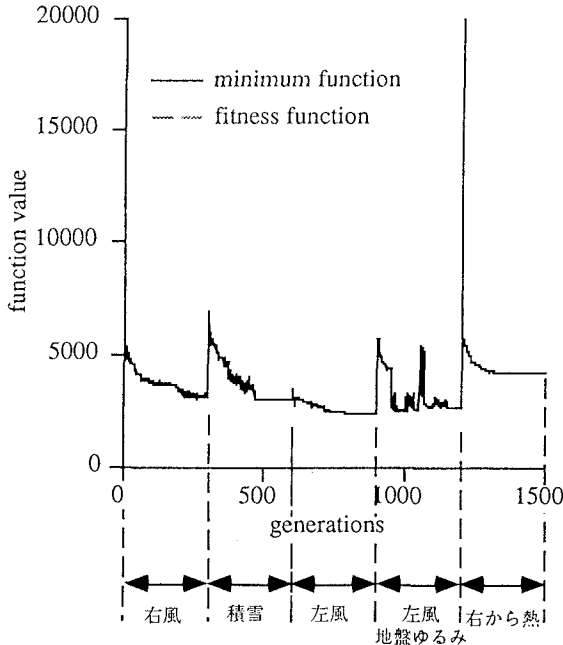


図3 位相の適応の変遷1

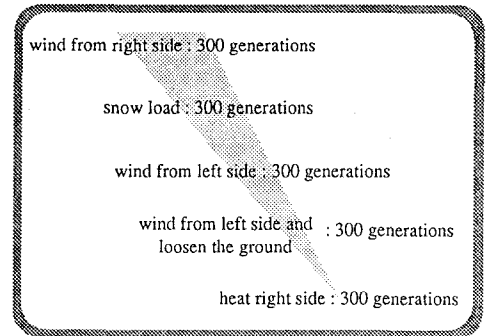


図1 環境変遷のシナリオ1

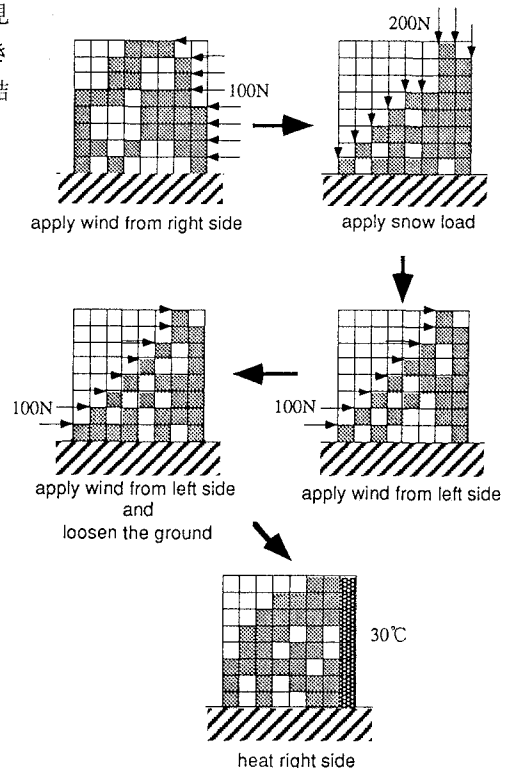


図2 シミュレーション結果1

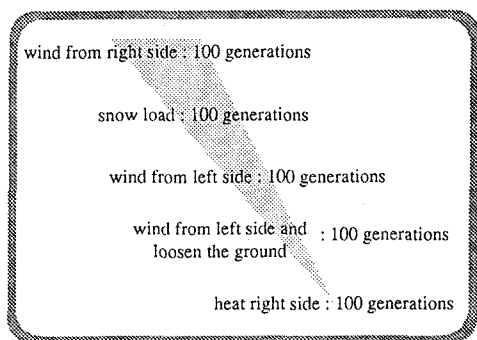


図4 環境変遷のシナリオ2

以上の2つの数値計算例を通じて、環境の変化に伴う位相の変遷の様子を見ることができた。2つの数値計算例では、各環境の世代数が異なるだけである。しかしながら、得られた位相には若干の差が生じていることがわかる。これは、各環境設定で十分に収束した場合とばらつきを多く持っている場合という差により異なる結果が得られたものと思われる。このほかにも、環境を与える順番によっても異なる結果が得られることは明白である。また、本研究ではシナリオを1巡しかしていないが、これを繰り返すことにより、いかなる環境にもある程度良好な評価関数値を持つもの（環境変化に対して頑強なもの）が得られるかどうかは大変興味深い問題である。今後、以上のような観点からさらに、検討を加えていきたい。

5. 結言

- (1) 遺伝的アルゴリズムと有限要素法を用いて、環境の変化により2次元構造物の位相を変遷させる手法を提示した。
- (2) (1)で示した手法を数値計算例に適用した結果、構造物の位相が変遷していく様子を観察することができ、環境が変わっても位相が遺伝していく様子等が観察された。今後、様々なシナリオでシミュレーションを行い、詳細な検討を加える予定である。

参考文献

- (1) 稲川智一, 荒川雅生, 山川宏: 2次元構造物の遺伝的アルゴリズムを用いた最適トポロジに関する研究, 日本機械学会論文集, Vol. 61, No. 587C, 1995, pp. 2901-2908.

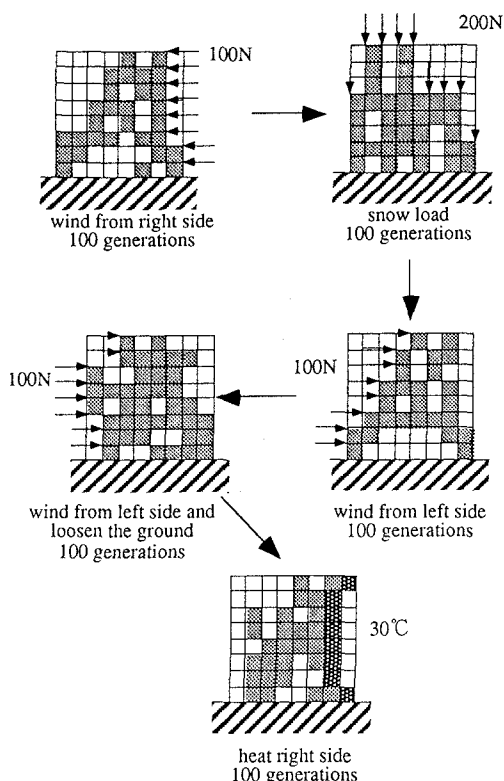


図5 シミュレーション結果2

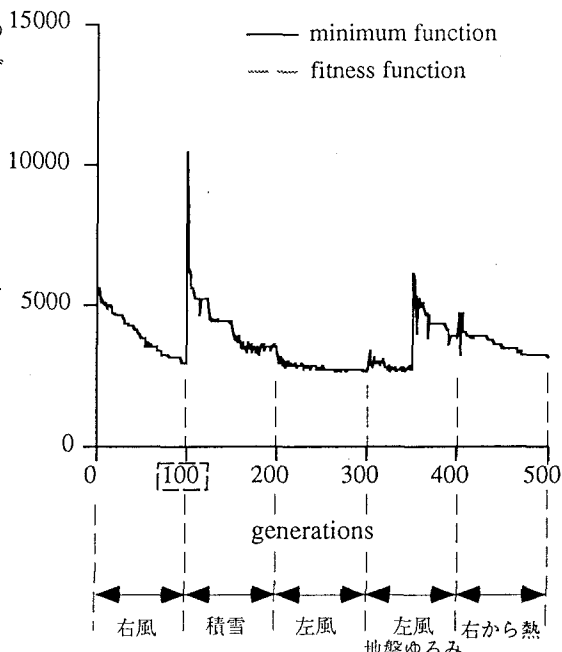


図6 位相の適応の変遷2