

## 遺伝的アルゴリズムに基づいたラチス骨組屋根の最適化設計

建築都市デザイン学科 2280060065-4 矢野 隼人  
(指導教員 張 景耀)

### 1. はじめに

構造設計において最も重要なことは建築物の安全性の確保であるが、それだけでなくコストや意匠性、機能性など、数多の条件を考慮する必要がある。それらの条件を満たす構造物の諸元を直感と手作業のみで決定することは困難である。

そこで本研究では、必要強度を満たし、かつ他の諸条件を満たす最適なラチス骨組屋根を設計するプログラムを作成する。部材の規格が決定している構造物においては、決定変数が離散的な集合となる組み合わせ最適化問題である。さらに、複雑な構造物においては厳密な最適解を求めることが困難であるため、短時間で実用的な解を求めることができるヒューリスティクスを用いることがよいと考えられる。ヒューリスティクスの一つである GA(遺伝的アルゴリズム)を作成するものとし、適応度の計算に構造解析ソフトを使用する。

### 2. 概要

C 言語によってプログラムを作成し、モデル情報と部材情報を入力することで構造物の設計が実行できるものとする。構造解析ソフトはモデル情報の書き換えが容易である opensees を使用する。

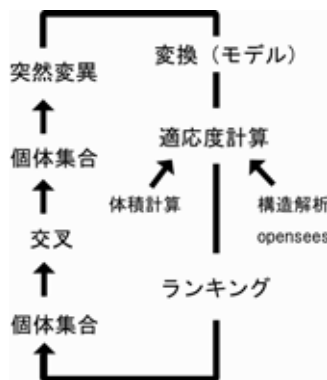


図1 プログラムモデル

流れとしては図1に記した様に、まず個体をランダムに生成し、適応度の計算を実行し0世代目とする。次に交叉や突然変異を実行し適応度の計算を実行する過程をT世代繰り返す。解の収束を早めるため、交叉方法は遺伝子の位置が変わらない一点交叉を用いる。

A [3, 3, 2, 4, 2, 2, 1, 1, 5] → A' [3, 3, 2, 4, 1, 2, 2, 3, 3]  
B [5, 5, 1, 1, 1, 2, 2, 3, 3] → B' [5, 5, 1, 1, 2, 2, 1, 1, 5]

局所解に陥るのを防ぐため、二種類の突然変異を定義する。一つは染色体の入れ替えを個体内で実行し、もう一方は染色体をランダムに決定する。

A [3, 3, 2, 4, 2, 2, 1, 1, 5] → A [3, 3, 2, 2, 4, 2, 1, 1, 5]  
A [3, 3, 2, 4, 2, 2, 1, 1, 5] → A [3, 3, 2, 4, 2, 2, 1, 1, 5]

さらに、進化の過程でより適応度の高い個体を次世代に残すためランキング法とエリート選択を実行する。

評価関数ではまず構造物全体の体積計算を行う。次に構造解析のモデリングデータに部材情報を入力し、解析を実行する。結果出力された情報を基に強度計算を行う。強度の規定を満たさない場合、その部材数だけ適応度にペナルティーを加える。ここで加えるペナルティーはコストの価値よりも十分大きい値とする。

GA の設定では個体を一つの構造物全体とし、遺伝子長を梁要素の数とする。この組み合わせを最適化するように目的関数を設定する。

目的関数 ;  $V(x) \rightarrow \text{Minimize}$

制約条件 ;  $F_i(x) < Pcr, (i=1, 2, \dots, n_1)$

$\sigma_i(x) < f, (i=1, 2, \dots, n_2)$

目的関数は個体における体積を最小化するものとする。それに対し制約条件は、部材軸力が座屈荷重より小さくかつ部材応力が長期許容応力度を満たすこととする。

本研究では作成したプログラムを検証するために、簡単な構造モデルで最適設計を実行する。形状はアーチ状に組んだラチス骨組み屋根を採用する。荷重条件としては節点荷重合計 800kN を部材交点に一様に分布させるものとする。



図2 採用した構造モデル

部材設定は曲げ応力度の計算が容易な一般構造用鋼管 SS400 とする。

	外径 mm	断面積 cm <sup>2</sup>	断面二次モーメント cm <sup>4</sup>	断面二次半径 cm
1	21.7	1.182	0.585	0.703
2	42.7	2.919	5.97	1.43
3	89.1	8.636	79.8	3.04
4	165.2	20.26	658	5.7
5	355.6	86.29	13000	12.3

表 1 使用する一般構造用鋼管の物性値 (染色体)

	設定値	実行値
収束条件(世代数)	T	200
交叉確率	survive	97%
突然変異確率	2/k	12.50%
エリート選択ペア数	W	2
遺伝子長	N	40
個体数	M	26
遺伝子の種類数	H	5
ペナルティー	penalty	10000
選択遺伝子重複を許す確率 (突然変異)		5%

表 2 GA 諸条件の設定値

### 3. 結果

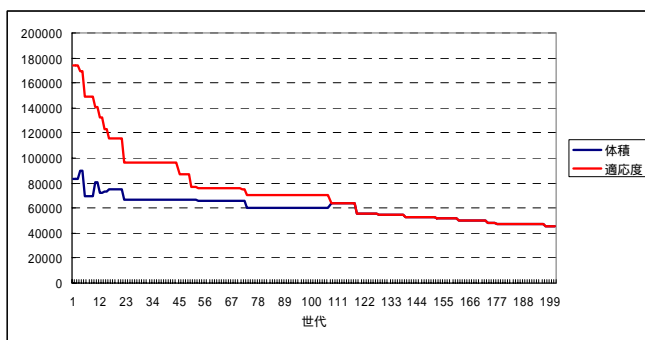


表 3 各世代における最適個体の適応度変動

図 3 は、各世代の適応度ランキング 1 位個体の遺伝子情報である体積と適応度をグラフ化したものである。まず適応度が体積の合計値に 107 世代で一致し、必要強度を満たした。その後世代を経るごとに体積の減少が進み、200 世代目では 0 世代目の適応度の 1/3 以下となり GA は適合性の高い個体を導くことに成功した。

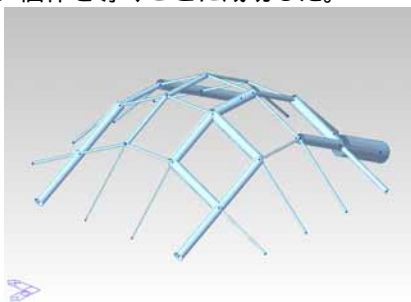


図 3 200 世代目の最適解の例

図 3 は、表 3 の 200 世代目の最適固体の実行データを図面に表示したものである。応力を Y 軸方向両端の部材で主に支える設計になった。この実行解では 200 世代で完全収束はしておらず、まだ実行を続ければ解が改善することが考えられるので、収束を早めるために図 4 のような構造物の対象性を考慮した操作を実行する。この操

作により、表 4 のように収束が早まり、より体積の小さい固体を生成することに成功した。

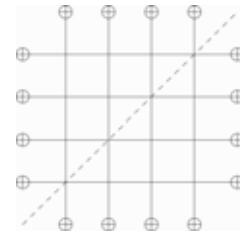


図 4 対象性の考慮

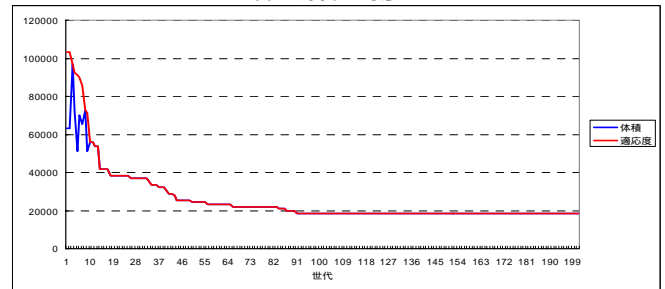


表 4 各世代における最適個体の適応度変動



図 3 200 世代目の最適解の例

これらの解は厳密な意味において最適とは限らないが、部材の設定によって体積差は抑えることが可能であり大きな適応度の差はないため、複数回プログラムを実行した固体から最も好ましい固体を、体積のほかに施工のしやすさや、意匠性などから設計者が選ぶことで決定することが好ましいと考えられる。

### 4. まとめ

GA プログラムを使用することにより、非常に少ない労力により骨組み屋根の設計が実行できた。GA の適切な設定によって、必要強度を満たす常に改善された解が得られた。他の形状を有する構造物であっても、モデリング情報を変化させるのみで今回作成したアルゴリズムを導入できる。

#### 参考文献

- 1) 棟朝雅晴：遺伝的アルゴリズム その理論と先端的手法 2008
- 2) 三井和男・大崎 純・大森博司・田中 浩・本間俊雄：発展的最適化手法による構造のフォルムとシステム 2004
- 3) 山下 信雄・福島 雅夫：電子情報レクチャーシリーズ C-4 数理計画法 2008
- 4) 日本建築学会：鋼構造設計基準 許容応力度設計法 2005
- 5) OpenSees のリンク ; <http://opensees.berkeley.edu/index.php>