

Particle Swarm Optimization によるトラス構造物の最適設計

山口大学 学生会員 ○江本 久雄
防衛大学校 正会員 別府万寿博
山口大学 正会員 中村 秀明
山口大学 フェロー会員 宮本 文穂

1. はじめに

構造物の最適設計¹⁾において、進化論的手法による近似解法が注目され、中でも Genetic Algorithms (GAs) が良く用いられている²⁾。しかしながら、GAs では、淘汰、交叉、突然変異手法などのパラメータ選択によっては、得られる近似解の精度にバラツキを有することがわかっている。そのため、GAs の改良を試みる各種研究³⁾が盛んに行われている。また、構造物の最適設計では、目的関数の評価に数値解析手法を用いる場合が多いため、計算コストをできるだけ抑えるためにも、収束が早く、精度の良い手法が望まれている。このような背景の中、鳥や魚の個々の振る舞いや群れをなす社会的行動を工学的に応用した Particle Swarm Optimization (PSO)⁴⁾が 1995 年に James Kennedy と Russell Eberhart によって開発された。本研究では、PSO をトラス構造物の最適設計に適用し、GAs と比較しながらその有効性を示す。

2. 対象構造物

図-1 に示すような 6 節点 10 部材のトラス構造物を対象に最適設計を行う。節点座標値は、節点①(0,0)、②(1000,0)、③(2000,0)、④(0,1000)、⑤(1000,1000)、⑥(2000,1000)である。節点①と節点④は、ピン支点となっており、荷重 5kN を節点③に下向きに作用させた。なお、全ての部材断面積は 707mm²である。順解析を行なった結果、部材番号 1 の応力は 10.65N/mm²、部材番号 2 では-10.56N/mm²であった。

3. 数値シミュレーション

数値シミュレーションとして、以下に示す形状最適化(問題Ⅰ)と体積最小化(問題Ⅱ)を行なった。各問題は、PSO および GA によってシミュレーションを行なっている。表-1 に各手法のパラメータを示す。

問題Ⅰ. 形状最適化

全ての部材のうち最大発生応力が最小となるように、トラス形状の最適化を行う。設計変数は節点②、③、⑤、⑥の座標値であり、移動制限値を x, y 方向ともに±200mm の範囲とする。

目的関数： $\sigma_{\text{最大}} \rightarrow \min$

(1)

問題Ⅱ. 体積最小化

トラス構造の体積が最小となるような最適化を行う。設計変数は断面積とし、その範囲は 600 から 900mm²とする。許容応力は 10N/mm²とした。

目的関数： $\sum_{i=1}^{element} l_i A_i \rightarrow \min$

(2a)

制約条件： $\sigma \leq \sigma_{\text{許容}}$

(2b)

ここで、 l_i ：要素の長さ、 A_i ：断面積

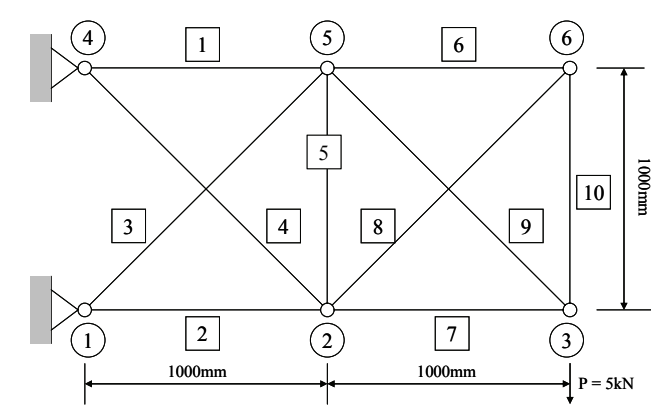


図-1 10 部材トラス構造物

表-1 パラメーター一覧

	問題Ⅰ	問題Ⅱ
PSO	粒子数: 30, 繰り返し回数: 200	
	次元数: 8, 最大速度: 150	次元数: 1, 最大速度: 750
GA	世代数: 200, 個体数: 30, 突然変異: 1/遺伝子長, 淘汰法: ルーレット選択(エリート保存戦略), 交叉法: 2点交叉	
	遺伝子長: 40ビット (5ビット×4節点×2)	遺伝子長: 5ビット

4. 結果と考察

問題Ⅰによって得られたトラスの形状を図-2 に示す。また、図-3に PSO と GA によって得られた最大応力の推移を示す。図-2 からどちらの手法も形状に大きな差がないことが分かる。しかしながら、図-3 に示す最大応力の推移をみると、GA では 80 世代あたりで最適な節点座標に近づいているのに対し、PSO では 30 世代あたりで急激に最適解に収束し、かつ最適解に近づいていることがわかる。

問題Ⅱの PSO によって得られた体積・断面積の推移を図-4 に示す。PSO では、図-4 に示すように 50 世代あたりで最適解に近づいていることがわかる。一方 GA では、組合せ数が 31 通りで、個体数が 30 であるため、全探索を行った場合と同様となり 1 世代目で最適解が求まった。断面積最適化では、部材が共通で組合せ数が少ないため、収束に関しては、GA の方が良い結果となった。

GA では、設計変数(表現型)を 2 進数のバイナリコード(遺伝子型)で取り扱うため、設計変数が連続値のとき、離散値に変換するためにコーディングを行う。そのため、設計変数の精度は、ある定義域で設定するビット数(遺伝子長)によって決まる。GA と PSO によって得られた断面積の値は、それぞれ 760mm^2 , 753mm^2 となり、PSO では連続値を直接取り扱えるため GA よりも詳細な値が求まった。ちなみに、GA において遺伝子長を長くして精度を向上させた場合、探索空間が広がるため最適解が求まりにくくなると思われる。

5. まとめ

- ・ 構造物の最適設計では、評価に FEM などの数値解析を用いるため、最適化手法の計算回数が少ない方が好まれ、GA よりも PSO が精度よく、また早く収束することがわかった。
- ・ PSO は、設計変数に連続値を直接利用できるため、GA よりも詳細に設計変数を検討できることがわかった。

参考文献

- 1) 土木学会構造工学委員会：構造システムの最適化—理論と応用—，社団法人 土木学会，1988 年。
- 2) 古田均，杉本博之：遺伝的アルゴリズムの構造工学への応用，森北出版株式会社，1997 年。
- 3) 大林茂：航空機の多目的最適設計，特集「遺伝的アルゴリズムの発展」，人工知能学会誌 18 巻 5 号，pp.495-501，2003 年。
- 4) J. Kennedy and R. Eberhart, Particle Swarm Optimization, IEEE, pp.1942 - 1948, 1995.

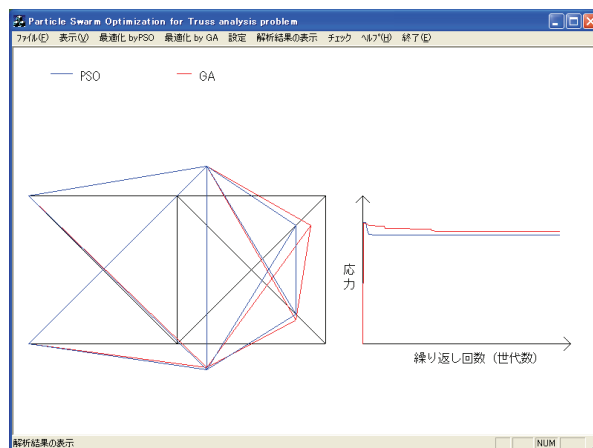


図-2 節点最適化によるトラスの形状

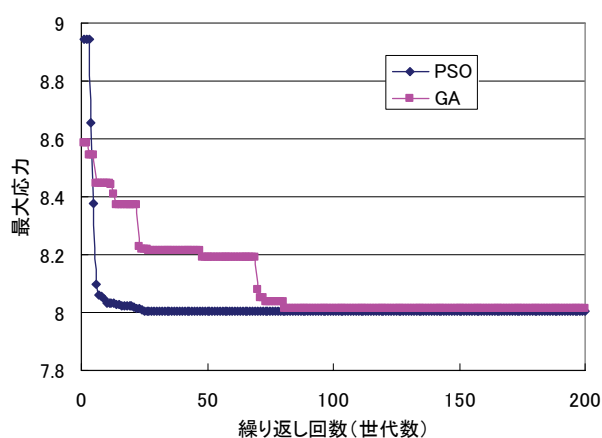


図-3 節点最適化による最大応力の推移

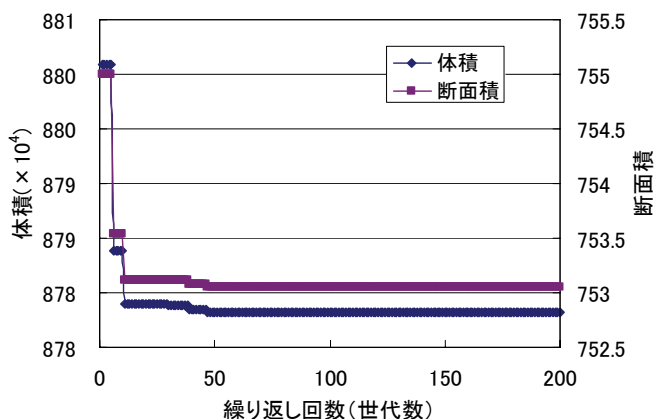


図-4 断面積最適化による体積・断面積の推移