

GA による骨組み構造物の最適設計プログラミングに関する研究

京都大学大学院工学研究科都市環境工学専攻 工修 学生会員 ○萩下 敬雄

1. 目的

土木・建築構造物の建設においては、コストの縮減が重要な課題であり、設計段階において、制約を満たす範囲内で使用材料の数量（又は、コスト）を最小化する必要がある。しかし、部材数の多い構造物（不静定構造物等）では、使用可能な部材の組合せ数は膨大であり、試行錯誤的な方法で最小重量を求めることは困難である。よって、最適解（近似解）を求めるためには、OR 手法を適用する必要がある。本研究は遺伝的アルゴリズムにより、最小重量を求めるプログラムを FORTAN90/95¹⁾ で実装し、その有用性を示すことを目的とした。

2. 断面形状の最適設計問題

本研究は、骨組み構造物の形状（断面以外）を与条件として断面形状を設計する断面形状の最適設計 (size optimization) を対象とした。断面形状の最適設計は下式のように定式化される。

$$W = F(\mathbf{X}) \rightarrow \min \quad (1)$$

$$g_i(\mathbf{X}) \leq 0 \quad (2) \quad W: \text{構造物の全体重量}, \mathbf{X}: \text{設計変数配列}, g_i: \text{制約条件式}$$

3. 遺伝的アルゴリズム (GA)

GA は、Holland により考案されたアルゴリズムであり、適応度の高い個体が生存する (survival of the fittest) という原理に基づいている。Goldberg²⁾ は SGA (単純 GA) を Pascal で実装し、生産、交差、突然変異の基本的な GA オペレーターの詳細を明らかにした。近年では、Pascal のみでなく、C や FORTRAN により、SGA プログラムが実装されており^{3) 4)}、利用することができる。本研究では FORTAN90/95 を用いて GA プログラムを実装している。骨組み構造物の最適設計分野では、1990 年代以降、GA が利用され始め、その詳細と結果が報告されている^{5) 6) 7) 8)}。

以下に、骨組み構造の設計に GA を利用する際の手法について説明する。GA オペレーターの説明は省略する。

1) 設計変数のコーディング、デコーディング

GA の各オペレーターは、2 進数線列に対して操作を行うため、設計変数集合 (人口 N 個分) を 2 進数線列 (string) でコード化する必要がある。設計変数が 4 個、設計変数のとりうる値が 64 (2^6) 個である場合は、1 つの解 (個体) の線列の長さは 24 となる (図 1 参照)。コード化された、設計変数に設計上の意味を与える (デコーディング) には、2 進数線列を 10 進数に変換し、予め作成した断面リストより断面を選択する。

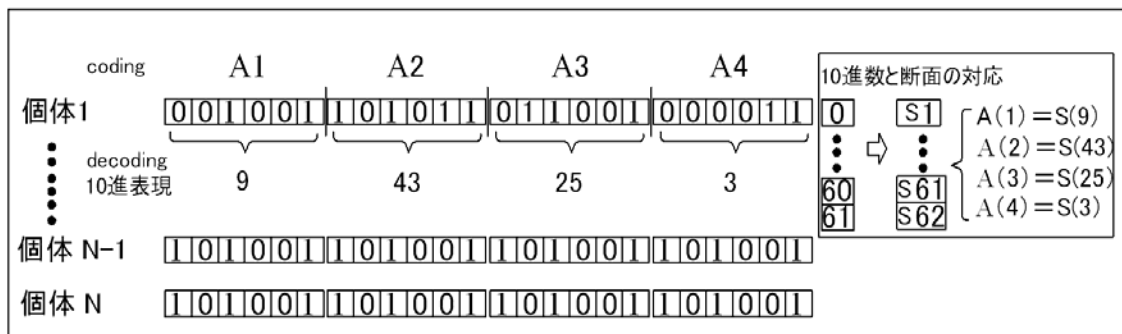


図 1. コーディング、デコーディング

2) ペナルティの設定

GA は制約条件がない場合の最適化手法であるが、構造物設計では応力や変位に関する制約がある。よって、ペナルティを導入して、制約のない最適化問題に変換する必要がある。下式による方法を採用した。

キーワード GA, 骨組み構造物, 最適設計, プログラミング, アルゴリズム

連絡先 〒606-8501 京都市左京区吉田本町 京都大学大学院工学研究科 都市環境工学専攻 TEL 075-753-5123

$$\alpha_i = \frac{|\eta_i|}{|\eta_i^a|} - 1 \quad (3) \quad C_i = \begin{cases} 0 & (\alpha_i < 0.0) \\ \alpha_i & (0.0 < \alpha_i) \end{cases} \quad (4) \quad C_j = \sum_{i=1}^{Ne} C_i \quad (5) \quad F_j = W(1 + KC_j) \quad (6)$$

W: 重量、 η : 計算された応力・変位、 η^a : 許容値、Ne: 部材数、j は人口指標、K: パラメータ

3) 目的関数の変換・・・GA は目的関数の最大化する手法下式により最大化問題に変換した。

$$F_j' = (F \min + F \max) - F_j \quad (7) \quad \text{又は、} \quad F_j' = \frac{F \max - (F \min / \alpha)}{F_j - (F \min / \alpha)} \quad (8)$$

4. 最適設計プログラムの概要

骨組み構造物の構造解析には、FORTRAN95/95 を利用した汎用プログラム⁹⁾（スカイラインを用いた FEM 解析プログラム p42、p44）を利用した。最適設計プログラムのアーキテクチャ¹⁰⁾は図 2 の通りである。

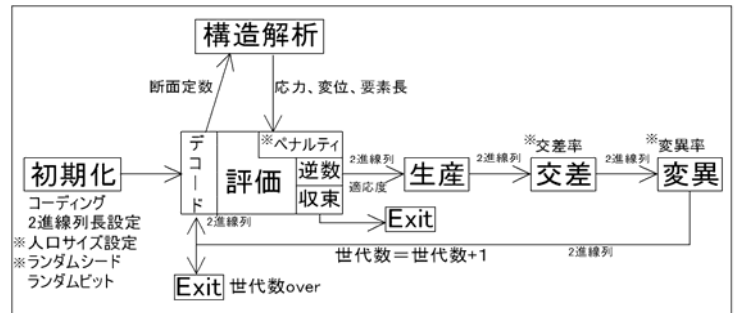


図.2 プログラム概要

5. ベンチマーク問題への適用、最適設計結果

a) 3 部材トラス (2D) (図 3)⁶⁾

(S={1.2、1.4、1.6、1.8、2.0、2.2、2.4、2.6、2.8、3.0、3.2、3.4、3.6、3.8、4.0、4.4} [cm²]、対称性より、A1=A2、E=2.0×10⁵ [N/mm²]、 $\rho = 7.85 \times 10^{-6}$ [kg/mm³]、 $\sigma_a = \pm 147.2$ [N/mm²]、 $u_a = \pm 50.8$ [mm]、交差率は 0.7、突然変異率は 0.01、格点 4 に {Fx, Fy}={9.81、-98.1} [kN] の荷重を作用)

・最適断面 A1=A2=2.4 [cm²]、A3=3.8 [cm²]、最小重量 W=14.668 [kg]

b) 10 部材トラス⁶⁾

(S={1.62、1.80、1.99、2.13、2.38、2.62、2.63、2.88、2.93、3.09、3.13、3.38、3.47、3.55、3.63、3.84、3.87、3.884、184.22、4.49、4.59、4.80、4.97、5.12、5.74、7.22、7.97、11.50、13.50、13.90、14.20、15.50、16.00、16.90、18.80、19.90、22.00、22.90、26.50、30.00、33.50} [sq inch])、E=6.85×10¹⁰ [N/m²]、 $\rho = 27.14$ [kN/m³]、 $\sigma_a = \pm 172.4$ [N/m²]、 $u_a = \pm 50.8$ [mm]、人口 50、交差率 0.8、変異率 0.004)

・最適断面 A1=22.9、A2=16.9、A3=1.62、A4=1.62、A5=33.5、A6=1.62、A7=26.5、A8=4.97、A9=1.62、A10=22.0 [sq in]、最小重量 W=24.9 [kN]

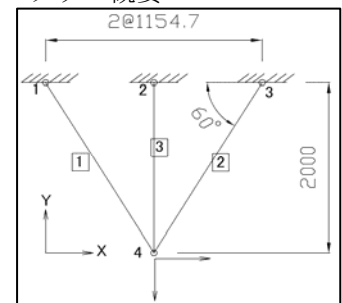


図.3 3部材トラス (2D)

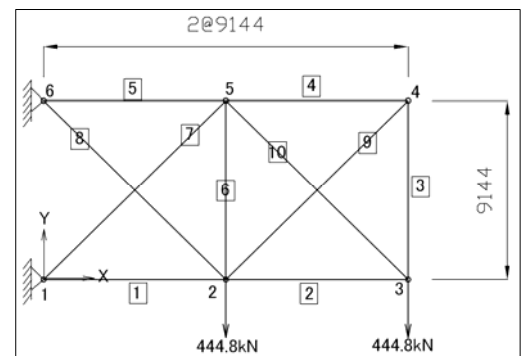


図.4 10部材トラス (2D)

参考文献

- 1) Stephen J Chapman “FORTRAN 90/95 FOR SCIENTISTS AND ENGINEERS” McGraw-Hill 1998
- 2) David Goldberg “Genetic Algorithms in Search, Optimization and Machine Learning” Addison-Wesley 1989
- 3) 石田良平、村瀬治比古、小山修平 “パソコンで学ぶ遺伝的アルゴリズムの基礎と応用” 森北出版 1997
- 4) 安居院猛、長尾智晴 “ジェネティックアルゴリズム” 昭晃堂 1993
- 5) 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 1997
- 6) S Rajeev, C S Krishnamoorthy “Discrete Optimization Of Structures Using Genetic Algorithms” J. Struct. Engrg ASCE 1992 pp1234-1250
- 7) W M Jenkins “TECHNICAL NOTE : Toward Structural Optimization Via The Genetic Algorithm” Comp. and Struct. 1991, pp1321-1327
- 8) Charles Camp, Shahram Pezeshk, et al “Optimized Design Of Two-Dimensional Structures Using a Genetic Algorithm” J. Struct. Engrg ASCE 1988 pp551-559
- 9) I M Smith and D V Griffiths “Programming the Finite Element Method 4th Ed” Wiley 2004
- 10) Nicholas Ali, Kamran Behdinan et al. “Applicability of GA based finite element analysis architecture for structural design optimization” Comp. and Struct. 2003 pp2259-2271