

GAによる離散的構造設計に関する基礎的検討

九州共立大学工学部 正員 三原 徹 治
 アルファコンサルタント㈱ 正員 千々岩 浩 巳
 九州共立大学工学部 学生員 〇 梶 見 謙
 学生員 馬屋原 慎 二

1. 緒 言

構造最適化理論の適用範囲を拡張するための一つの方向性として離散的構造最適化が挙げられる¹⁾。特に、従来の多くの最適化手法では最適化計算に微係数が必要であり設計変数を連続量と仮定せざるを得ず、設計変数が離散的であることが多い実設計への適用性に難点があった。遺伝的アルゴリズム (Genetic Algorithm, GA) はダーウィンの自然淘汰説を基礎とする生物進化の過程をひとつの最適化過程と解釈し、システム最適化へ応用する手法であり、離散的構造最適化に関しても種々の適用研究が行われている²⁾。

本報は、単純GAと呼ばれる手法の離散的構造設計への適用性を、人口数やコーディング形式などの面から基礎的に検討するための数値実験結果について報告するものである。ただし、十分な数の数値実験を行うため、対象問題を簡単なトラス構造の離散的な最小重量設計問題、すなわち、離散値として与えられた設計変数(トラス部材の断面積)の組合せのうち、設定した制約条件を満足したうえで構造重量を最小にする組合せを求める問題に限定した。

2. 対象とした構造最適化問題

図-1に示す3部材トラス($P=20.0\text{tf}$)の応力制約のみを考慮した最小重量設計問題は式(1)のように表される。ここに、 $X_{1,2}$ は部材断面積で設計変数、 $g_{1\sim3}$ は部材①～③の応力制約条件を示すが、引張部材①、②と同様に圧縮部材③についても応力度の設計上での限界値 σ^u は 1400kgf/cm^2 に固定した。また、設計変数 $X_{1,2}$ に共通な40種の使用可能離散値データを表-1に示すように、データランクに対して昇順になるように与えた。

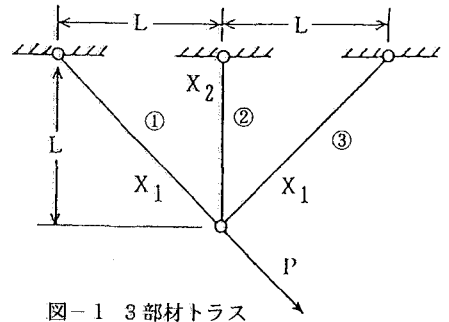


図-1 3部材トラス

3. 単純GAの概要

GAは、生物の生殖・淘汰・進化の過程を簡単な数理モデルに置換える手法であり、具体的には次の3つのオペレータを繰返す。すなわち、大きな評価関数値を有する線列(相対的に最適度が高い設計)が確率的に多数残される淘汰、新世代の線列を作成する交叉、予防処置的な突然変異である。設計変数を離散量とする構造最適化に関する単純GAのアルゴリズムは、適応関数 f_i に式(2)を用いる場合³⁾、以下のようである。

[1]各設計変数毎の使用可能離散値データ、人口数 N 、交叉確率 P_c 、突然変異確率 P_m 、式(2)における C_i 等の入力。

[2]人口数 N だけ、ランダムに初期世代線列(各設計変数

に割当てられた離散値データをコーディング形式で表現)を作成。

[3]コーディング形式の線列から離散値データに変換して構造解析、式(2)による適応関数値の算定、淘汰。

[4]コーディング形式の線列に対して交叉および突然変異による新しい世代の線列を作成、[3]へ戻る。

表-1 離散値データリスト

1.238	1.583	1.799	2.291	2.919
3.345	3.510	4.025	4.205	4.564
5.760	6.465	7.100	7.349	7.591
8.636	9.085	9.892	10.69	11.17
12.26	12.52	15.17	15.40	15.52
17.07	19.12	19.13	22.72	25.16
25.22	26.32	29.17	29.94	30.01
34.79	34.82	39.61	40.40	46.03

$$W = (2\sqrt{2} X_1 + X_2) L \rightarrow \min. \quad \text{----- (1a)}$$

$$g_1 = (\sqrt{2} X_1 + X_2) Q / X_1 - \sigma^u \leq 0 \quad \text{---- (1b)}$$

$$g_2 = \sqrt{2} Q - \sigma^u \leq 0 \quad \text{----- (1c)}$$

$$g_3 = X_2 Q / X_1 - \sigma^u \leq 0 \quad \text{----- (1d)}$$

$$\text{ただし、} Q = P / (\sqrt{2} X_1 + 2 X_2) \quad \text{----- (1e)}$$

$$f_i = \frac{\Phi_0(1-C_i)}{\Phi_0 - \Phi'} \Phi_i + \frac{\Phi_0(C_i\Phi_0 - \Phi')}{\Phi_0 - \Phi'} \quad (i=1..N) \quad \text{--- (2)}$$

$$\Phi_i = W_i + \gamma \sum \max[g_j, 0]_j \quad (i=1..N) \quad \text{--- (3)}$$

[5]最終的に適応関数値が最大の線列を解として採用。

ただし、式(2)において Φ_1 は式(3)に示される外点ペナルティ関数、 Φ_0 、 Φ' は各世代におけるペナルティ関数の平均値と最小値、 C_f は平滑化係数であり、式(3)の γ はペナルティ係数である。

4. 数値実験結果

(1)最適解

今回対象とした問題の最適解は、離散値データのすべての組合せについて、その最適性を順次検討する列挙法により $X_1=11.17\text{cm}^2$ 、 $X_2=6.465\text{cm}^2$ 、 $W=38.05\text{Lcm}^2$ と得られた。

(2)人口数の影響

まず、 $P_m=0.01$ 、 $C_f=2.0$ 、コーディング形式はBC(バイナリコード)とし、 $N=10\sim 50$ 、 $P_c=0.1\sim 1.0$ と変化したときのGAで得られた解の状況を表-2に示す。表-2には、最適解が得られた場合にはその世代数、その他の場合には全世代中のペナルティ関数の最小値を示す。また、網掛けは最適解との誤差が2%以内のほぼ最適解とみなせる解(準最適解)を示す。

表より、GAは必ずしも最適解を求めることができる手法ではないこと、特にNが小さいと良好な解が得られにくいことがわかる。

しかし、 $N\geq 30$ かつ $P_c\geq 0.4$ の各ケースでは最適解もしくは準最適解が得られており、従来の研究において $P_c=0.4\sim 0.8$ 程度が比較的多く用いられていることから $N=40, 50$ 程度が無難な人口数と判断される。

(3)コーディング形式の影響

次に、 $N=50$ 、 $P_m=0.01$ とし、コーディング形式にBCとGC(グレイコード)、 $P_c=0.1\sim 1.0$ 、 $C_f=1.0\sim 2.0$ と変化したときのGAによる解の状況を表-2と同様に表-3に示す。

表-3(a)のBCより表-3(b)のGCの方が全般に多くのケースで最適解が得られており、しかも最適解が得られる世代が比較的早い傾向が認められる。交叉オペレータによる新線列作成においてGCではBCより離散値データランクの変動幅が小さく、離散値データを表-1のように規則的に与えていることの影響と考えられる。

参考文献 1)土木学会構造工学委員会構造システム最適化研究小委員会:構造システム最適化の現状と将来,土木学会論文集, No. 450, pp. 1~12, 1992. 7. 2)杉本他:離散的構造最適設計のためのGAの信頼性向上に関する研究,土木学会論文集, No. 471, pp. 67~76, 1993. 7.

表-2 解の状況($BC, P_m=0.01, C_f=2.0$)

$N \setminus P_c$	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0
10	40.02	40.02	40.02	40.02	40.02	40.02	40.02	40.02	40.02	40.02
20	38.87	39.32	38.69	39.32	38.88	38.33	39.32	38.69	38.33	38.33
30	39.32	39.32	39.32	38.19	38.87	38.87	3	7	38.19	6
40	39.32	38.69	39.32	38.87	39.24	12	23	10	10	10
50	39.32	38.19	38.69	3	38.33	13	38.88	6	16	38.19

表-3(a) 解の状況($BC, N=50, P_m=0.01$)

$C_f \setminus P_c$	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0
1.0	39.32	39.32	5	39.18	39.32	39.18	39.18	38.19	6	38.87
1.1	38.33	38.33	11	38.33	38.19	17	42	9	38.19	14
1.2	38.87	38.19	36	26	38.19	14	37	38.19	16	38.19
1.3	38.87	38.19	38.87	13	2	44	38.76	4	6	10
1.4	39.32	38.19	39.32	38.19	38.33	12	38.19	38.33	6	19
1.5	39.32	38.69	38.33	38.19	32	38.69	38.19	36	13	38.19
1.6	39.32	7	38.69	38.33	38.69	33	38.19	38.76	23	38.19
1.7	39.32	38.19	19	7	38.87	38.88	13	38.33	10	15
1.8	39.32	39.32	39.32	3	12	5	38.69	6	15	38.19
1.9	39.18	39.32	38.87	3	38.19	38.88	20	10	22	34
2.0	39.32	38.19	38.69	3	38.33	13	38.88	6	16	38.19

表-3(b) 解の状況($GC, N=50, P_m=0.01$)

$C_f \setminus P_c$	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0
1.0	38.70	43.15	43.15	9	38.88	3	40.24	5	38.69	38.69
1.1	12	38.87	38.19	38.19	39	6	3	38.69	2	4
1.2	38.69	5	11	5	5	8	4	40	5	4
1.3	38.33	38.87	48	12	11	4	5	9	5	10
1.4	3	38.19	9	38.19	3	3	3	4	2	5
1.5	38.70	9	38.19	38.88	38.33	3	3	11	2	9
1.6	43.15	39.34	9	39.34	38.33	9	10	13	12	6
1.7	39.34	40.24	8	38.19	38.19	14	9	7	2	2
1.8	39.24	38.33	11	38.87	4	9	38.19	16	2	2
1.9	40.24	40.24	10	8	5	4	7	4	2	2
2.0	40.50	40.24	15	5	8	19	16	5	38.19	5