構造最適化問題に対する進化的 L システムの有効性 Validity of the Evolutionary L-systems for the structural optimization problems

正 尾田 十八 (金沢大)
○学 山本 照晃 (金沢大)

学 宮西 潤 (金沢大院)

Juhachi ODA, Kanazawa University, 2-40-20, Kodatsuno, kanazawa
Jun MIYANISHI, Graduate school of Natural Science, Kanazawa University
Teruaki YAMAMOTO, Student at Kanazawa University

Key Words : Computational Mechanics, Optimum Design, L-system, Genetic Algorithm

1. 緒言

目的に応じた最適構造を創生する為に、様々な手法が提案されている。その中の一つである遺伝的アルゴリズム (GA) は生物進化のメカニズムを模倣した最適化手法であるが、問題によってはコーディングの限界から最適解を得ることが困難な場合もある。

このような点から L システム (L S) と GA を組み合わせ、あたかも生物が生長するように目的に応じた最適構造を創生する手法である進化的 L システム (E L S) が提案された⁽¹⁾。本研究ではこの手法に対して、目的に応じた最適構造を効率よく得るために手法中の各パラメータをどのように設定すればよいかについて考察する。

2. 進化的 L システムについて

2.1 L システムについて

2.1.1 L システムの基本パラメータ⁽²⁾

L S は細胞の分裂増殖によって生物の形態の発生を記述する概念を中心とした形態発生システムである。その中心をなすものは発生過程に登場する細胞のタイプのセット Σ 、出発点の細胞を表す ω 、細胞の書き換え規則 P の 3 つである。すなわち (Σ, ω, P) で定義されるシステムが L S であり、この 3 つが基本パラメータといえる。

2.1.2 テーブル L S

テーブル L S とは、細胞は始め規則 P_1 に従って増殖を繰り返すが、ある時点で切り替えスイッチが働いて細胞が従う規則は P_2 へと切り替えられるとするものである。

2.1.3 確率 L S

確率 L S とは、1 つの細胞タイプに対し複数の書き換え規則が与えられていて、1 つのステップで適用すべき書き換え規則をその中からある確率をもって選ぶというものである。

2.2 L システムの進化的手法

複雑な形態も L S を用いると簡単な発生規則によって表現することができる。しかし目的とする形態を形成するためには、 (Σ, ω, P) をうまく決定しなければならない。そこで (Σ, ω, P) を図 1 のように GA にコーディングすることにより、細胞の書き換え規則や出発点細胞などを最適に決定する。この方法を進化的 L システム (E L S) と呼んでいる。

Fig.1 prototype of the ELS

3. 構造最適化問題への応用

3.1 問題

集中荷重を受ける平板の板厚分布最適化問題を E L S を用いて解く。本問題は図 2 に示す 1 辺が固定された 100×100 [mm] の正方平板に荷重が作用しているとき、この平板に発生する応力を材料の許容応力以下にとどめながら、その重量を最小とする板厚分布を求めるものである。具体的には平板を 10×10 要素に分割し、分割された各要素の状態を 1, 10 [mm] の 2 種類の板厚から選択することにより平板の板厚分布を決定する。したがって本問題は次のように示される。

$$\text{設計変数 } t_{ij} (i, j = 1, 2, \dots, 10) \quad \dots (1)$$

$$\text{目的関数 } W \rightarrow \min \quad \dots (2)$$

$$\left. \begin{array}{l} \text{制約条件 } \sigma_{ij} < \sigma_a \\ t_{ij} = (1[\text{mm}], 10[\text{mm}]) \end{array} \right\} \quad \dots (3)$$

ここで、 t_{ij} : 要素の板厚、 W : 平板の重量、 σ_{ij} : 要素に発生する応力、 σ_a : 材料の許容応力である。

Fig.2 Analytical model

3.2 E L S による解の探索

E L S では分割された各要素を細胞とみなし、出発点に設定された細胞から増殖を繰り返して平板の板厚分布を創生する。ここでは E L S のパラメータを様々に変えることで得られる解にどのような影響が生ずるのかを調べる。

3.2.1 シンプル L S (S L S)

表 1, 2 に出発点細胞位置を荷重点に固定し、細胞タイプのセット Σ について増殖能力がある細胞を 2 ~ 5 種類と変化させた時の結果を示す。

Table1 Analytical results (allowable stress 19.6MPa)

cell type	Bit number of GA	Analytical results	
		Weight [g]	Generation
2	16	765	1
3	36	413	43
4	48	324	64
5	60	289	41

Table2 Analytical results (allowable stress 24.5MPa)

cell type	Bit number of GA	Analytical results	
		Weight [g]	Generation
2	16	765	1
3	36	413	39
4	48	269	63
5	60	227	21

3. 2. 2 出発点細胞位置をコーディング(GA)

表 3, 4 に細胞の書き換え規則に加え出発点細胞位置も GA にコーディングし, Σ を前項と同じように変化させたときの結果を示す。

Table3 Analytical results (allowable stress 19.6MPa)

cell type	Bit number of GA	Analytical results	
		Weight [g]	Generation
2	23	345	147
3	44	331	69
4	56	358	174
5	68	276	64

Table4 Analytical results (allowable stress 24.5MPa)

cell type	Bit number of GA	Analytical results	
		Weight [g]	Generation
2	23	310	113
3	44	296	98
4	56	234	254
5	68	234	147

3. 2. 3 テーブルLSを使用(TLS)

表 5, 6 に基本的なLSシステムにテーブルLSを併用したときの結果を示す。

Table5 Analytical results (allowable stress 19.6MPa)

cell type	Bit number of GA	Analytical results	
		Weight [g]	Generation
2	36	448	137
3	76	379	224
4	100	345	229
5	124	262	120

Table6 Analytical results (allowable stress 24.5MPa)

cell type	Bit number of GA	Analytical results	
		Weight [g]	Generation
2	36	310	54
3	76	372	112
4	100	324	170
5	124	221	157

表 7, 8 に基本的なLSシステムにテーブルLSおよび出発点細胞位置も変化させたときの結果を示す。

Table7 Analytical results (allowable stress 19.6MPa)

cell type	Bit number of GA	Analytical results	
		Weight [g]	Generation
2	43	255	74
3	84	289	199
4	108	276	120
5	132	269	183

Table8 Analytical results (allowable stress 24.5MPa)

cell type	Bit number of GA	Analytical results	
		Weight [g]	Generation
2	43	255	306
3	84	248	337
4	108	221	31
5	132	227	202

3. 2. 4 確率LSを使用

表 9, 10 に確率LSを使用し, 細胞の書き換え規則を 2, 3 通りとしたときに得られる解にどのような影響を与えるかを示す。

Table9 Analytical results (allowable stress 19.6MPa)

Rule of cell rewrite	Bit number of GA	Analytical results	
		Weight [g]	Generation
2	36	255	32
3	54	255	106

Table10 Analytical results (allowable stress 24.5MPa)

Rule of cell rewrite	Bit number of GA	Analytical results	
		Weight [g]	Generation
2	36	331	88
3	54	227	38

3. 3 考察

図 3 に各パラメータごとの重量と解の得られたGA世代の関係を示す。図から明らかなように, いずれのパラメータにおいても細胞タイプのセットを増やすことで, 得られた形状は軽くなっている。これは細胞タイプのセットが増えることにより, LSシステムにより表現できる形状が複雑になり得るためである。また, 細胞タイプのセットを増やすことで解が得られたGA世代が大きくなるが, ある程度セット数を増やすと逆に早く解を得ることができる傾向にある。これはセット数を大きく取ること, 同じ形状を得るための成長規則の自由度が増すためであると考えられる。

得られる解については, 3つの基本パラメータのみで表現したシンプルLSよりも, テーブルLSを使用することや, 出発点細胞位置をGAにコーディングし決定することでよい解を得ることができる。またテーブルLSと出発点細胞位置コーディングを併用することで細胞タイプのセットが少なくてもよい解を得やすいことがわかる。これはシンプルLSでは表せないような複雑な構造を得ることができるためである。

Fig. 3 Effect of cell type on weight and generation

4. 結言

今回の解析においてE LSを用いて目的に応じた最適構造を効率的に得るには細胞タイプのセットを増やすことが最も重要であることが明らかとなった。そしてテーブルLSを使用することや, 出発点細胞位置をGAの染色体にコーディングすることが複雑な構造を得るために必要であることも明らかとなった。

参考文献

- (1) 尾田十八, Sourav Kundu, 齊藤誠, 日本機械学会論文集, A編, 67巻, 653号, (2001-1), p.121-126
- (2) 土居洋文, 生物のかたちづくり, (1988), 55, サイエンス社