

防衛大学校 学生員 ○作田 健 防衛大学校 学生員 黒木 勇人
防衛大学校 正 員 香月 智 防衛大学校 フェロー 石川 信隆

1. 緒言

構造物の最適設計法に関する研究の多くは、目的関数や制約条件が予めプログラム化できることを前提として最適な設計変数の組み合わせを解くものである¹⁾。しかし、設計実務者にとって目的関数や制約条件を陽な形で表わすことが困難な場合がある。そこで本研究では、設計者が設計作業の中で目的関数や制約条件を逐次認識変化させるものとの前提に立ち、設計作業の中で生ずる仮の設計に対する順解析結果に対して対話的に要求を与えることによって、その要求を最大限に満足する設計値を遺伝的アルゴリズム(GA)²⁾による逆解析によって設計者に解答する対話型の最適設計システムを提案するものである。

2. システム構成および基本式

2.1 設計システムの構成

提案する対話型最適設計プログラムのシステムは、図-1に示すように次の5つの過程を繰り返して設計を行うプロセスから構成される。

- ① 順解析プロセスは、仮の設計値に基づく入力データを用いて弾性トラス解析を行うプロセスをいう。
- ② 対話プロセスでは、順解析の結果に対して、設計者が希望(要求)を設定する。
- ③ 逆解析プロセスでは、解析値に対する要求が書き込まれたデータファイルをGAの入力データとして使用し要求を最大に満足する設計組み合わせを探索する。
- ④ 探索で得られた設計は、そのまま順解析の結果への入力データファイルとして示されるので、設計者は陽な形では表現しにくい工学的な判断を加えてこれを修正し、順解析で確かめる。
- ⑤ 以降、設計者の満足する設計が得られるまで、逐次に要求内容を変更して①～④のプロセスを繰り返す。

2.2 GAの基本式

本研究の順解析にはトラス構造の静的弾性解析を用い、順解析の結果の中で、①節点座標、②部材断面積、③部材長、④部材材料剛性、⑤部材角、⑥固定端反力、⑦自由節点変位、⑧部材伸縮量、⑨部材ひずみ、⑩部材力、⑪部材応力および⑫総鋼材量に対して希望(要求設定)をできるようにしている。その際の要求の種類は、表-1に示すように‘強く要求’、‘望ましい’および‘何も要求しない’と要求の強さを大別し、その中で‘要求値付近であること’、‘要求値より小さい値の中で要求値付近であること’および‘要求値より大きい値の中で要求値付近であること’の3種類で表現できる。これらの要求をもとにGAの目的関数を次式で与える。

$$Z = \sum_{i=1}^n \frac{|y_i - y_{req}| C_i}{S_i} \rightarrow \min \quad (1)$$

ここで、 Z :目的関数、 y_i :要求に対する順解析値、 y_{req} :要求値、 C_i :要求の種類に応ずる罰金係数、 S_i :要求量の種類に応ずる標準化係数。また順解析アルゴリズムとしてトラスの弾性解析を行うので、次式が満足されている。

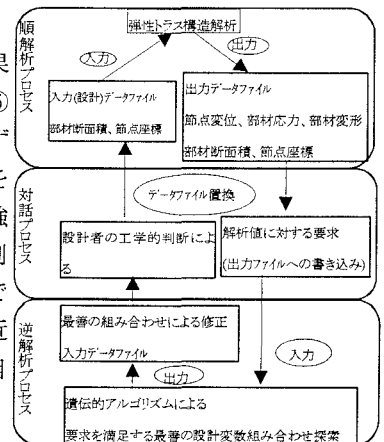


図-1 GAを用いた対話型最適設計のシステム構成

表-1 要求区分と記号

記号	要求区分
SE	要求値に等しいことを‘強く’要求
SL	要求値より小さい値でかつ要求値に等しいことを‘強く’要求
SG	要求値より大きい値でかつ要求値に等しいことを‘強く’要求
HE	要求値に等しいことを‘望む’
HL	要求値より小さい値でかつ要求値に等しいことを‘望む’
HG	要求値より大きい値でかつ要求値に等しいことを‘望む’
ナナク	希望なし

$$\mathbf{u} = \mathbf{K}^{-1}\mathbf{F} \quad (2) \quad \mathbf{Q} = \mathbf{k}\mathbf{q} \quad (3)$$

$$\mathbf{q} = \mathbf{C}\mathbf{u} \quad (4) \quad \boldsymbol{\varepsilon} = \mathbf{L}^{-1}\mathbf{q} \quad (5)$$

ここで、 $\mathbf{u}$:節点変位ベクトル、 $\mathbf{K}$:構造剛性マトリクス、 $(=\mathbf{C}^T\mathbf{k}\mathbf{C})$ 、 $\mathbf{F}$:荷重ベクトル、 $\mathbf{q}$:部材変形量ベクトル、 $\mathbf{C}$:変形適合マトリクス、 $\boldsymbol{\varepsilon}$:ひずみベクトル、 $\mathbf{L}$:部材長による対角マトリクス、 $\mathbf{Q}$:部材軸力ベクトル、 $\mathbf{k}$:集成要素剛性マトリクス、 $\boldsymbol{\sigma}$:部材応力ベクトル、 $\mathbf{A}$:部材断面積による対角マトリクス。なお、遺伝的アルゴリズムには、単純 GA を用いた²⁾。

3. 10 部材トラスの計算例

提案する対話型設計法を用いて図-2に示す 10 部材トラスの最適化を行った。使用可能な断面は、市販されている型钢 32 種類の部材リストを用いて設計を行うものとし、GA には表-2 に示すパラメーターを用いた。

(a) 部材断面の最適化

まず、形状は初期形状を保ったままで、許容応力(引張 1400kgf/cm²、圧縮 1000 kgf/cm²)を満足したうえでなるべく鋼材量を少なくする設計を行った。このため、各部材がフルストレス状態となるよう表-3 に示す要求を与えた。図-3 に GA が推薦する設計結果を、表-3 に推薦断面に対する解析値を示す。GA は要求量に対して良好な応答値を示す設計を探索しているのがわかる。

(b) 形状最適化問題

続いて、部材断面と同時に節点位置座標を設計変数に加えた形状最適化を行った。図-4 に GA による推薦形状を示す。GA の推薦する図-4 の形状は部材 2, 8, 10 が不要である。そこで、図-1 の「設計者の工学的判断による設計値の直接修正」のプロセスにおいて、7 部材トラスに変更することが適切であると判断し、図-5 のように設計変更した。表-4 に図-5 の 7 部材トラスに対する順解析の結果を示す。全ての部材が許容応力を満足し、全鋼材量が表-3 の形状最適化以前より小さい合理的な設計を得ている。従来、図-4 から図-5 に至る部材数変更を含んだトポロジカルな最適化問題をプログラミングすると、煩雑なプログラミングとなり、また問題ごとの特殊性をプログラム化するため汎用性を失ってしまうが、対話プロセスを利用した本設計法では、柔軟かつ容易に行うことができることがわかる。

4. 結言

提案する GA による対話型最適設計法は、従来陽な形で表現することが困難であった設計者の要求や判断を対話プロセスに組み込むことにより、より柔軟な最適設計作業が可能である。今後、より良い解を速く探索するための遺伝的アルゴリズムのチューニングが必要である。

参考文献

- 1) 土木学会: 構造システムの最適化～理論と応用～, 構造工学シリーズ I, 1988.
- 2) 杉本博之, 吉田均: 遺伝的アルゴリズムの構造工学への応用, 森北出版, 1997.

$$\boldsymbol{\sigma} = \mathbf{A}^{-1}\mathbf{Q} \quad (6)$$

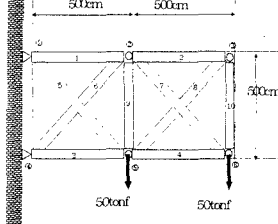


図-2 10 部材トラス

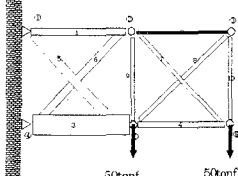


図-3 GA の推薦断面

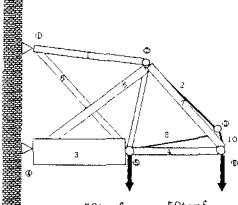


図-4 GA の推薦形状及び断面

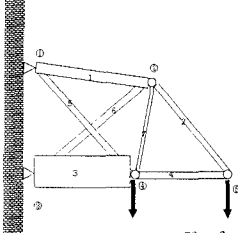


図-5 設計者の判断による設計

表-2 GA パラメーター

項 目		数 値	
n	部材断面積候補数	32	
	人口サイズ	100	
	シミュレーション世代数	100	
	重要度関数の最大値	3.0	
	交叉確率	60%	
	突然変異確率	20%	
	ペナルティ 一係数	SE	100
		SG, SL	10000
		HE	1
		HG, HL	1000
標準化係数	応力	1000	
	鋼材量	100000	

表-3 推薦断面の解析結果

部材番号	断面積 (cm ²)	応力 (kgf/cm ²)	要求値
1	57.80	1324	1400 (SL)
2	13.60	1270	1400 (SL)
3	197.40	-652	-1000 (HG)
4	34.77	-940	-1000 (HG)
5	93.75	1109	1400 (SL)
6	40.52	-923	-1000 (HG)
7	42.74	1082	1400 (SL)
8	42.74	-572	-1000 (HG)
9	19.00	-327	-1000 (HG)
10	17.00	1018	1400 (SL)
Vol.	0.3252m ³		0.3m ³ (SE)

表-4 7 部材設計の解析結果

部材番号	断面積 (cm ²)	応力 (kgf/cm ²)	許容値
1	76.00	1316	1400
2	50.21	1323	1400
3	119.40	-796	-1000
4	57.75	-757	-1000
5	53.38	1352	1400
6	76.00	-847	-1000
7	22.29	-473	-1000
Vol.		0.2708m ³	