

GAによる不安定構造の解析

熊本大学工学部 学生員 ○楠野 貴大
 同上 正員 小林 一郎
 同上 正員 三池 亮次
 同上 学生員 東 高徳

1. はじめに

著者らは増分形有限ひずみ仮想仕事の定理による構造物の解析に関する研究の一環として、ケーブル等の不安定構造の大変形解析を効率よく行う手法として最適化手法を試みた¹⁾。その手法としては、釣り合い式の両辺の残差平方和を目的関数として最小二乗法の一つであるマルカート法を用いた。しかしこの目的関数は多峰性関数であるため、マルカート法では初期値の与え方によっては局所解に到達する。そこで本研究では、局所解に陥らないような初期値の選定を多峰性の関数にも有効である遺伝的アルゴリズム (GA) により行うものである。

2. 目的関数の設定²⁾

設計変数を $\mathbf{x}$ として、式の両辺の残差 $\mathbf{v}$ の平方和を最小化する。

$$\mathbf{v} = \Delta \mathbf{p} - (\mathbf{C}' + \Delta \mathbf{C}) \Delta \mathbf{p}_m - \Delta \mathbf{C} \mathbf{p}_m' \quad (1)$$

$$\Delta \mathbf{p}_m = \mathbf{K}_m \{ (\mathbf{C}' + \Delta \mathbf{C})^T \Delta \mathbf{d} - \Delta \mathbf{e}_{m\theta} \} \quad (2)$$

ただし、 $\mathbf{C}$ は接続マトリックス、 $\mathbf{K}_m$ は部材剛性マトリックス、 $\Delta \mathbf{d}$ は増分変位、 $\Delta \mathbf{e}_{m\theta}$ は有限変形に伴う部材の補正項である。

これにより目的関数

$$f = \mathbf{v}^t(\mathbf{x}) \mathbf{v}(\mathbf{x}) \rightarrow \min \quad (3)$$

を求める。

3. 線列のコーディング

(1) 平面ケーブル

設計変数 $\mathbf{x}$ を二進コードの線列に変換するが次の2つのケースを試みた。

case-a: 直交座標 (x, y) で線列を与える場合

設計変数として水平増分変位 Δd_x 、鉛直増分変位 Δd_y 与え、式(2)より $\Delta \mathbf{p}_m$ を求め、式(1)、(3)より目的関数を求める。

case-b: 極座標 (R, θ) で線列を与える場合

R は回転半径であるから、伸びを与えることになるが、ここでは伸びを与えるよりも軸力として与えた方が簡単な式で求めることができる。よって、設計変数は、増分軸力 Δp_m と増分回転角 $\Delta \theta$ とする。こうすることにより、式(2)を用いずに目的関数を求めることができる。

(2) 立体ケーブル

図-1に示す1部材立体ケーブルモデルについて例を示す。太線を部材とし、この部材の xy 平面への正射影と x 軸とのなす角を θ_1 、 xy 平面と部材のなす角を θ_2 とする。こうすることにより設計変数は増分部材回転角 $\Delta \theta_1, \Delta \theta_2$ と増分部材軸力 Δp_m の3つにすることができる。

なお、式(1)で用いる接続マトリックスでは部材と各座標軸とのなす角が必要となる。 x 軸、 y 軸、 z 軸とのなす角をそれぞれ $\theta_x, \theta_y, \theta_z$ とすると次の式で与えられる。

$$\begin{aligned} \cos \theta_x &= \cos \theta_1 \cos \theta_2 \\ \cos \theta_y &= \sin \theta_1 \cos \theta_2 \\ \cos \theta_z &= \sin \theta_2 \end{aligned} \quad (4)$$

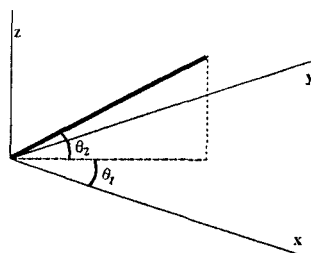


図-1 立体ケーブルでの角度の与え方

4. 計算例

(1) 6部材ケーブルモデル

図-2に示す6部材ケーブルモデルについて解析を行う。図-3にマルカート法(初期値 $\Delta \mathbf{d} = 0$)による解、直交座標によるGAの解(case-a)、極座標

によるGAの解(case-b)の3つを示した。また、断面積 $A = 1.0\text{cm}^2$ 、弾性係数 $E = 2.1 \times 10^6 \text{kgf/cm}^2$ とした。GAによる解析で用いたオペレータは、人口数100、最大繰返し世代数150、交叉確率0.4、突然変異確率0.01としている。表-1にcase-a,bの場合の最終的な目的関数の値を示した。case-aとcase-bの目的関数を比較するとcase-bの方がはるかによい。このことから、case-aのような線列の取り方をした場合、部材の回転変位をとらえることが困難であると思われる。これは、このようなケーブルの変形においては、伸びは部材長に比べ非常に小さいため、伸びが少しでもずれている点では荷重に直して計算する目的関数の値は大きなものとなる。つまり、回転変位はほとんど無視され、伸びが最も一致している点を選ぶことになるとと思われる。それに対してcase-bのように極座標で線列を与えた場合、同一円周上に線列があるため伸びが同じものの中で最も良い角度を選ぶことができる。また、同じ角度の中で最も良い伸びを選ぶこともできる。こうすることによってcase-aの上記のような問題点が改善される。

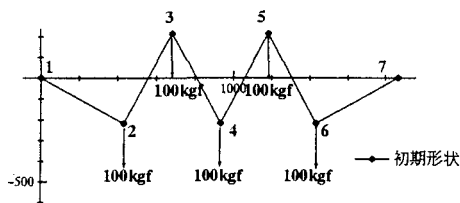


図-2 6部材ケーブルモデル

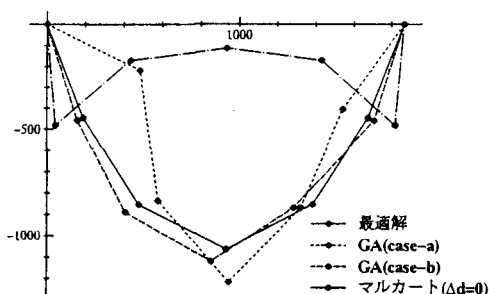


図-3 6部材モデルの解析結果

表-1 目的関数値の比較

	目的関数値(kgf ²)
直交座標(case-a)	2.6×10^{11}
極座標 (case-b)	1.59

(2)10部材ケーブルモデル

図-4に示す10部材ケーブルモデルについて解く。各節点に下向き 4tf と6節点に右向き 200tf が作用したときの最終形状を求めるものである。また、ここで断面積 $A = 0.01\text{m}^2$ 、弾性係数 $E = 2.0 \times 10^7 \text{tf/m}^2$ とした。

この解析では $\Delta\theta$ と Δp_m を設計変数としている。GAによる解析で用いたオペレータは、6部材のモデルと同じである。図-5に示す結果のように、単純に初期形状からマルカートを用いた場合、破線のような局所解に陥ってしまう。実線で示したものが、GAでの解析結果を初期値としてマルカート法を用いたものである。この結果からも $\Delta\theta$ と Δp_m を設計変数としてのGAの解析結果はマルカート法の初期値として有効であるといえる。

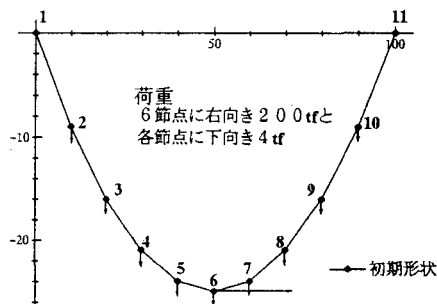


図-4 10部材ケーブルモデル

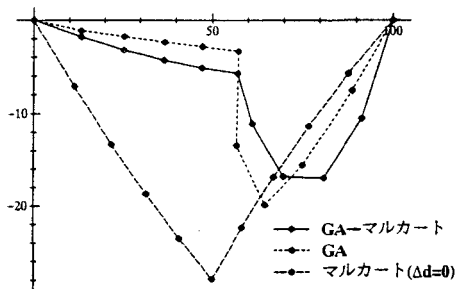


図-5 10部材モデルの解析結果

参考文献

1. 小林一郎、三池亮次：ケーブル構造の大変形解析への最適化手法の適用、土木構造・材料論文集、第5号、1990。
2. Miike, R., Kobayashi, I. and Yamada, Y.: Virtual Large Displacement Theorem for Framed Structures, EM Division, ASCE, 1990