

粒子群最適化手法を用いた複合材料の最適設計

日大生産工(院) ○斉藤 龍彦
日大生産工 平山 紀夫

1. 諸言

航空宇宙分野などで実用化されている複合材料は、その多くが一方方向プリプレグシートを様々な角度で積層して作成される複合材積層シェル構造である。このような複合材積層シェル構造では、軽量化を目的としたシェル構造の薄肉化のため、座屈による破損が生じやすい。したがって、座屈強度を最大化するための積層構成の最適化が行われている。

そこで本研究では、有限要素法によるリブ付補強積層板の座屈荷重の最大化問題に、非線形散逸項を考慮した粒子群最適化 (Particle Swarm Optimization Nonlinear Dispersive Termed, 以下 PSO_NDT) を適用した。そして、従来使用されてきた遺伝的アルゴリズム (Genetic Algorithm, 以下 GA) と比較することで、その有用性について検証を行った。

2. 最適化

2.1 粒子群最適化手法

PSO は、確率的多点探索による大域的最適化手法の一つであり、鳥の群れや魚の群泳など生物の行動パターンを模倣し、群に含まれる複数の探索個体が、群で情報を共有しながら最適値を探索する手法である。また、PSO_NDT は非線形散逸項を有した PSO で、一般的な PSO と比較して探索個体が発散性を持つため、探索領域が多様化されて高い割合で大域的最適解を得られる手法である。

2.2 解析手法

評価関数となる FEM の計算には汎用有限要素ソフトウェア ANSYS ver. 17.0 を使用し、PSO_NDT 最適化には FORTRAN95 を使用してプログラムを作成した。また、GA による最適化演算には、ANSYS ver. 17.0 に標準で具備されている GA を用いた。なお、解析対象としては、

実際の複合構造物として実用上重要であるリブ付補強積層板の一軸圧縮による座屈問題を想定し、設計変数は連続値と離散値を混合させた。さらに、重量制約条件を最適化問題に設定し、PSO_NDT を適用した。

2.3 解析モデル

図 1 に本解析で用いたリブ付補強積層板の FEM モデルを示し、さらに表 1 に構造寸法として設定した設計変数の制約条件を示す。aa1 は原点からリブ A までの X 方向距離、bb1 は原点からリブ B までの Y 方向距離、hh1 はリブ A, B の高さ、tt はベース板の板厚、ta はリブ A の板厚、tb はリブ B の板厚である。境界条件は周辺単純固定条件とし、Y 軸方向にのみ圧縮荷重を作用させた。積層数は 12 層とし、

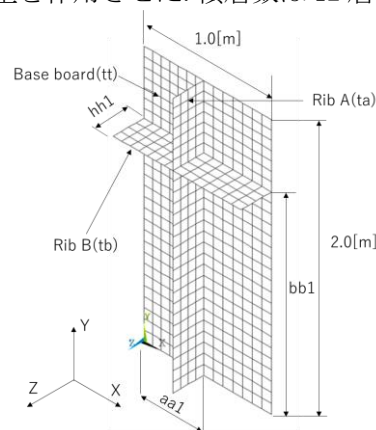


図 1 リブ付補強積層板の FEM モデル

表1 設計変数の制約条件

$0.2 \leq aa1 \leq 0.8$
$0.2 \leq bb1 \leq 1.8$
$0.1 \leq hh1 \leq 0.3$
$0.01 \leq tt \leq 0.05$
$0.01 \leq ta \leq 0.05$
$0.01 \leq tb \leq 0.05$

積層配向角度は、0°, 15°, 30°, 45°, 60°, 75°, 90°の7種類から選択する。ただし、1～6層目と7～12層目は鏡面对象とした。リブ付補強積層板に用いられる材料は8種類のFRP材から選択され、積層構成は平板、リブA、リブBで全て同一のものとした。また、1、2層目の材料は同一とし、1層目に選択される配向角度に負号をつけた反対角度を2層目に選択されるようにした。この条件は、3、4層目、5、6層目でも同様とした。

設計変数の数は、モデルの構造寸法を表す変数6個、積層配向角度の種類7個、材料の種類8個の計21個である。

3. 評価関数

座屈強度を評価関数 $f(x)$ として、評価関数にマイナスを乗じて、最小値を求める最適化問題とした。また、構造物の総重量に制約を与え、現実的な構造最適化問題に対応できるよう拡大評価関数を設定した。最適化問題で設定した拡大評価関数を(1)式に示す。

$$F(x) = -f(x) + r \times \max(W - W_c, 0) \quad (1)$$

ここで、 $F(x)$ は拡大評価関数、 $f(x)$ は評価関数、 r はペナルティ係数、 W は構造物重量、 W_c は構造物重量の制約上限値である。

4. 解析結果

図2にPSO, PSO_NDTおよびGAの3種類のアゴリズムにおける最適計算時の評価関数値の収束状況を示す。図2から明らかなように、3種類のアゴリズムの中では、PSO_NDTが最大の座屈荷重を算出できている。また、少ない計算回数でGAよりも良い解を探索できており、PSO_NDTの収束性はPSOやGAと比較して優位性があることが確認できた。3種類のアゴリズムにより得られた最適値とその時の各設計変数を表2に示し、その時の座屈モード図を図3に示す。

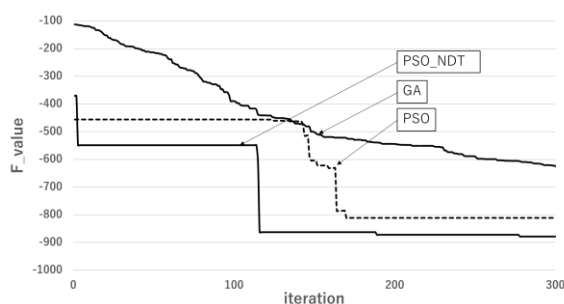


図2 評価関数値の収束状況

表2 最適化計算結果

	PSO	PSO_NDT	GA
F value	-811	-879	-623
Ply material	[1,1,1,1,2,2]sym	[1,1,1,1,1,1]sym	[1,1,3,3,1,1]sym
Ply angle	[45,-45,75,-75,75,-75]sym	[45,-45,0,75,-75]sym	[60,-60,30,-30,15,-15]sym
aa1	0.468	0.503	0.611
bb1	1.51	1.08	1.22
hh1	0.242	0.145	0.158
tt	0.0367	0.0355	0.046
ta	0.0226	0.0347	0.0463
tb	0.0187	0.0218	0.0234
mass	161	143	178

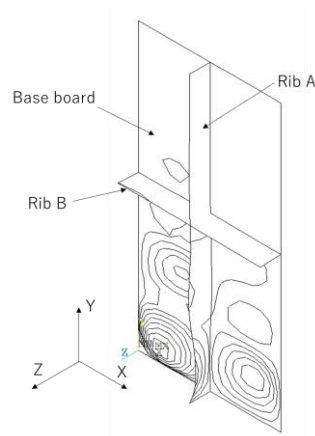


図3 最適化後の座屈モード

5. 結言

本研究では、有限要素法によるリブ付補強積層板の座屈荷重最大化問題に非線形散逸項を考慮したPSOを適用した。また、従来使用されてきたGAにより同様な条件で最適問題を解析し、最適計算の結果と計算効率を比較した。その結果、以下の結論が得られた。

- 1) PSOとFEMの組み合わせにより、積層配向角度を設計変数とした複合材積層シェル構造の最適化計算が可能であることを示した。
- 2) PSO_NDTとGAの計算結果の比較からPSO_NDTはGAより収束性に優れていることが分かった。

「参考文献」

- 1) J. Kennedy, R. Eberhart, Particle Swarm Optimization, Proc. Of IEEE International Conference Neural Networks Vol. IV (1995), 1942-1948.
- 2) 村田秀樹, 安田恵一郎, 相吉英太郎, 電気学会論文誌C, 127, 5 (2007), 787-792.