

多点同時探索型手法を用いた複合材料の構造最適化問題に関する研究

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構造は、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薄肉化のため、座屈による破損が生じやすい。そのため、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。しかしながら、複合材料の構造最適化問題では、離散値と連続値の両方の設計変数が非常に多く定義されているため、局所解が多数存在し、大域的な最適解を探索することが難しい。

そこで本研究では、このような複合材料の構造最適化問題に対し、離散値と連続値の両方が適応できるように改良した多点同時探索型手法の適用を試みた。本報告では、複合材料の座屈荷重最適化問題に、遺伝的アルゴリズム(GA)、粒子群最適化(PSO)、差分進化(DE)、人工蜂コロニー(ABC)の4種類の多点同時探索型手法を適用し、これら4種類のアルゴリズムの収束性と探索性能について比較・検証を行った。

2. 最適化問題の設定

2.1 多点同時探索型手法

多点同時探索型手法とは、集団としての降下特性を持たせることにより評価関数の改善を図り、近似的な最適解を得ようとする手法である。本研究で適用する PSO, DE, ABC の3つの最適化アルゴリズムは、連続値の設計変数とする問題に対応したアルゴリズムである。そのため本研究では、連続変数と離散変数が混在している最適化問題にも適用できるように、それぞれのアルゴリズムに改良を加えた。

2.2 解析手法

評価関数となる座屈荷重の算出には、汎用有限要素ソフトウェア ANSYS ver.17.0 を使用し、PSO, DE, ABC 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組み込み、より現実的な設計問題となるように設定した。

2.3 解析モデル

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し、さらに図 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。積層板の積層数は 12 層とし、積層配向角度は、0°, 15°, 30°, 45°, 60°, 75°, 90° の 7 種類から選択し、積層板に用いられる材料は 4 種類の FRP から選択する。1~2 層, 3~4 層, 5~6 層の各 2 層間では材料は同一とし、さらに各 2 層間に割り当てられる積層配向角度は±が反対の角度とした。また、1~6 層と 7~12 層の境で鏡面対象条件を付与したので、材料と積層配向角度が割り当てられる層は 1, 3, 5, 層目のみで、残る 9 層は自動的に割り当てられる。積層構成はベース板、リブ A、リブ B で全て同一のものとした。よって、設計変数の数は、モデルの構造寸法を表す変数 6 個、1, 3, 5 層目で割り当てられる積層配向角度の種類 3 個、材料の種類 3 個の計 12 個である。

表1 設計変数の制約条件

	lower value	upper value		lower value	upper value
aa1	0.2	0.8	tt	0.01	0.05
bb1	0.2	1.8	ta	0.01	0.05
hh1	0.1	0.3	tb	0.01	0.05

－Structural Optimization Problem of Composite materials using
Multi-Point Search Method－

Tatsuhiko SAITO and Norio HIRAYAMA

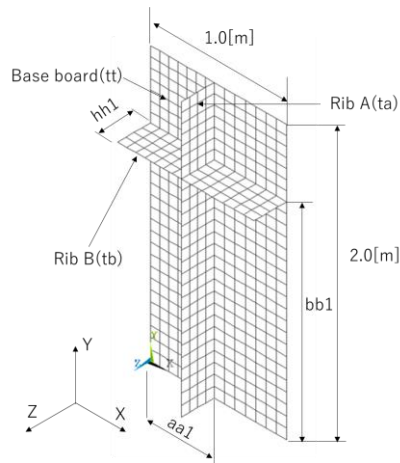


図1 リブ付補強積層板のFEMモデル

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、最大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に、式(1)に示す拡大評価関数 $F(x)$ を設定した。

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

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

GA, PSO, DE, ABCの4種類のアロリズムにおける最適計算時の評価関数値の収束状況を図2に示す。図2から明らかなように、4種類のアロリズムの中では、ABCが最大の座屈荷重を算出している。しかしながら、DEは少ない計算回数で良い解を探索できており、DEの収束性は他のアロリズムと比較して優位性があることが確認できた。4種類のアロリズムにより得られた最適値とその時の各設計変数の値を表2に示し、その時の座屈モードを図3に示す。

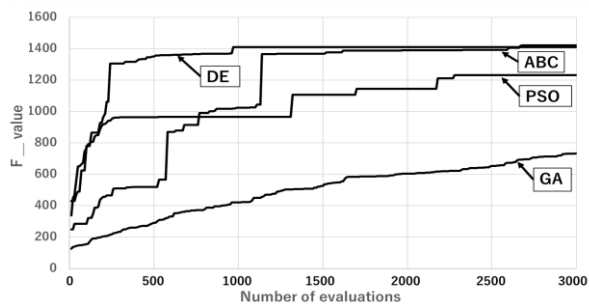


図2 評価関数値の収束状況

表2 最適化計算結果

Algorithm name	GA	PSO
F_value	332	1232
Ply material	[3,3,2,2,4]symmetry	[1,1,1,1,2,2]symmetry
Ply angle(°)	[15,-15,45,-45,30,-30]symmetry	[60,-60,30,-30,90,90]symmetry
aa1 (m)	0.641	0.500
bb1 (m)	1.12	0.846
hh1 (m)	0.187	0.184
tt (m)	0.0412	0.0476
ta (m)	0.0299	0.0500
tb (m)	0.0376	0.0240
total mass (kg)	187	212
Algorithm name	DE	ABC
F_value	1411	1421
Ply material	[1,1,1,1,2,2]symmetry	[1,1,1,1,2,2]symmetry
Ply angle(°)	[45,-45,90,90,0,0]symmetry	[45,-45,90,90,0,0]symmetry
aa1 (m)	0.497	0.500
bb1 (m)	0.880	0.817
hh1 (m)	0.234	0.233
tt (m)	0.0500	0.0500
ta (m)	0.0460	0.0492
tb (m)	0.0100	0.0194
total mass (kg)	208	229

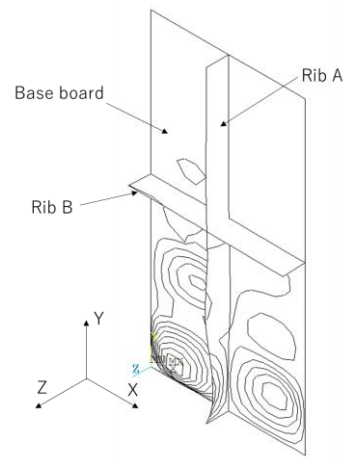


図3 最適化後の座屈モード

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離散値と連続値の両方が適応できるように改良した4種類のアロリズムを適用した。そして、4種類のアロリズムの収束性と探索性能について比較・検証を行った結果、以下の知見が得られた。

- 1) 多点同時探索型手法を離散値と連続値が混在した問題に適用することができた。
- 2) GA, PSO, DE, ABCの4種類の多点同時探索型手法と計算結果の比較から、DEは他のアロリズムより収束性が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.