

# 進化的アルゴリズムを用いた FRP 製コイルばねの最適構造設計

日大生産工(院) ○大高 元喜 日大生産工 平山 紀夫 染宮 聖人

## 1. 緒言

近年、FRPの適用例として、機械要素の一つである「ばね」への適用が注目されている。従来、ばね材料には主に鋼材が用いられてきたが、重量が大きく、軽量化の観点から代替材料の検討が求められている。先行研究では、FRP製コイルばねが優れたばね剛性を示すとともに、高い軽量化効果を発揮することが報告されている。

一方で、FRPを適用した機械要素部品を構造設計する場合、その設計変数は各層の板厚、繊維配向角や材料種別等、離散値と連続値の両方の設計変数が非常に数多く存在している。また、局所解が多数存在するため、効率的に大域的な最適解を探索することは容易ではない。

そこで本研究では、FRP製コイルばねの最適設計問題に対して、少ない評価関数の計算で効率よく大域的な最適解の探索を行うための進化的アルゴリズムを適用し、胴曲がり（以下、横変形）を抑制しつつ、ばね剛性を最大化する最適な積層構成を明らかにする。本報告では、FRP製圧縮コイルばねのモデルに対し、有限要素法による応力解析を行い、FRP製コイルばねの横変形の挙動を明らかにした。

## 2. 進化的アルゴリズムと離散設計変数

### 2.1 進化的アルゴリズム

粒子群最適法（以下、PSO）や差分進化法（以下、DE）などの進化アルゴリズムは個体集団を用いて、生物の進化過程や突然変異を模擬した最適化アルゴリズムで、多峰性関数や他目的の最適化問題に対して局所解に陥らず、最適解を探索できるため、様々な工学分野で適用されている。具体的な最適化手法の手順を以下に示す。

Step1 進化的アルゴリズムによる最適解の探索

Step2 評価関数値を計算し、最良値を保存。

Step3 規定値に1を加算し、Step1に戻る。

### 2.2 離散設計変数の計算処理方法

FRPの設計変数は離散値と連続値が混在しているが、一般的な進化的アルゴリズムの最適化演算は連続値で行うため、離散値を連続値に置き換えて計算する必要がある。そのため、著者らは離散値を連続値に変換する連続型手法を開発した。この連続型手法では、繊維配向角や材料種別などといった離散設計変数に対して離散設計変数値とテーブル番号を対応させた関数を定義する。そしてINT関数を用いて、更新された連続値をテーブル番号に変換し、関数に入力することで離散設計変数値を連続値で表現する手法であ

る．この連続型手法であれば，各離散設計変数のテーブル数を任意に設定することができる．連続型手法の関数と離散設計変数値を式(1)と(2)に示す．

$$f(l) = (l-1)\alpha \quad (l=1, \dots, \beta) \quad (1)$$

$$\gamma_j = f(\text{INT}(\beta x)) \quad (2)$$

ここで， $x$ は区間 $[0 \ 1]$ の連続値， $\alpha$ は離散設計変数の刻み値， $\beta$ はテーブル番号の最大値， $\text{INT}$ は指定された数以上のうち最小の整数値を返す関数を表している．

### 3. FEM解析および解析結果

#### 3.1 解析モデル

本研究で使用したコイルばねは，先行研究で使用したものと同様の自動車用圧縮コイルばねを採用した．この時の圧縮コイルばねの線形は15.0 mm，コイル内径（端部）は77.0 mm，その中心部は104.8 mm，総巻数は5.75，有効巻数は4.25，自由高さは293 mmである．その解析モデルを，以下のFig.1に示す．

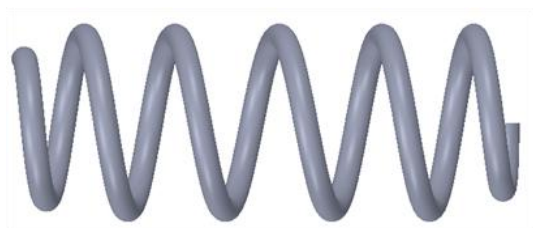


Fig.1 FEM解析で使用した解析モデル

#### 3.2 解析条件

実際の圧縮試験と同様に，ばねの両端に治具を取り付けた．ここで，治具の境界条件は片方を完全固定し，もう片方は圧縮方向にのみ143.1 mm移動するように強制変位を与えた．ばね自身の境界条件は，ばねの両端の断面に対し拘束を行い，完全固定を行った治具

側にあるばねの断面を完全固定した．また，強制変位を与えた治具側のばねの断面が圧縮方向にのみ移動するように強制した．

#### 3.3 解析結果

FRP製コイルばねに対して，143.1 mm圧縮させたときの全変形量のコンター図をFig.2に示す．Fig.2に示すように，ばねの中央部は胴曲がりによる変形が生じており，最大横変形量は約3.65 mmであることがわかった．

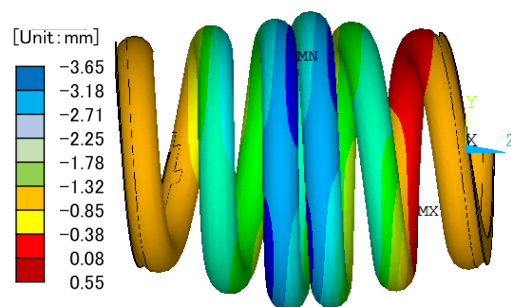


Fig.2 全変形量のコンター図

### 4. 結言

本研究では，FRP製圧縮コイルばねのモデルに対し，有限要素法による応力解析を行い，FRP製コイルばねの横変形の挙動を明らかにした．その結果，ばねを143.1 mm圧縮させると，胴曲がりによる横変形量は約3.7 mm生じることがわかった．今後は，進化的アルゴリズムを用いて，横変形を抑制しつつ，ばね剛性を最大化する最適な積層構成と形状を明らかにしたいと考える．

#### 参考文献

- 1) 島村昭治, 宮入裕夫, 小山博, 吉田真也, 自動車用FRP製懸架ばねに関する研究, ばね論文集, Vol. 1974, No.19, 25-32