

生物構造体からデザインを学ぶ—蔓科植物の蔓巻き曲線—

Learning from biological structures-Curves of twiners

根守 亮輔, 桜井 俊明

Ryosuke NEMORI, Toshiaki SAKURAI

いわき明星大理工学研究科, いわき明星大学科学技術学部

要旨：生物構造体，蔓巻を参考にして人工物の構造体，コイルばねの構造体を例に取り，3D-CADによる造形と有限要素法による解析を行い，蔓巻の有用性を検討したので報告する。

キーワード：3次元CAD，蔓巻き曲線，コイルばね，造形，設計工学，構造工学

1. はじめに

蔓科植物の蔓の巻き方に注目し，人工物構造体に応用することを目的とする。

一般に蔓巻形，広くは螺旋形の機械部品には，代表例としてばねが挙げられる。ばねは機械要素の中でも重要な要素の一つで種々部品に採用されている。それらの形状はばね形状断面が一定であり，また不等断面でも，比較的単純形状を有している。

一方，植物の蔓はコイル状に巻きながら成長するが，途中巻き方向を変え，また直線部を設けることにより，力の緩和を図っているようにも見受けられる。

そこで本論文では，蔓の巻き方や，蔓自身がねじれ面を有している場合の検討を，コイルばね構造を使用し，有限要素解析を実施し，それらの有用性について調査した。

2. 蔓巻き

2.1 蔓科植物の蔓巻き曲線

蔓科植物の蔓はコイル状に巻きながら成長する。

図1に蔓科植物の蔓巻き曲線の例を示す。図からコイルの巻き方は右巻き，あるいは左巻きに成長するものがある。さらに蔓の途中の部分に直線状に成長した箇所がある。この理由はある方向で一旦対象物に巻きつくと，この巻き方の方向を変え，力を打ち消すためとされている。また，ひまわりや松かさ，などの種子の配列には，いわゆる螺旋パターンが見られる。

一方，自然の螺旋には単純な旋回だけでなく，それ自体が僅かにねじりを持っているものもある。

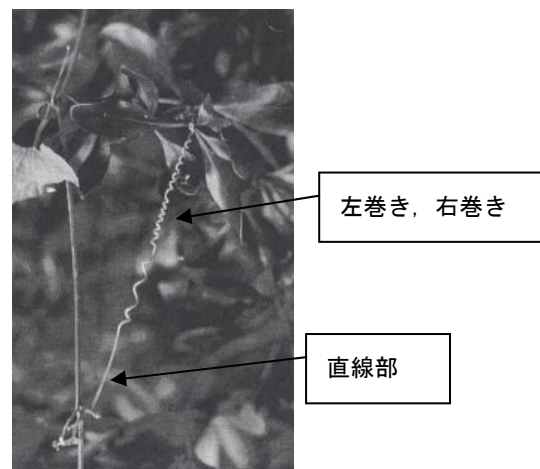


図1 蔓科植物の蔓巻き曲線の例⁽¹⁾

2.2 ばねの構造

機械要素の中に螺旋や蔓巻き曲線が多く見られる。代表的にはねじやコイルばねが挙げられる。ここでは，コイルばねに注目する⁽²⁾。

図2に圧縮コイルばねの概略図を示す。

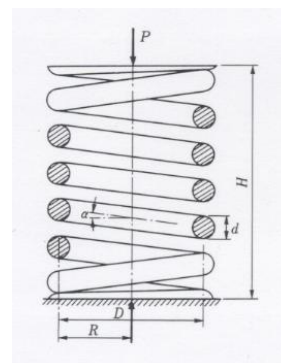


図2 圧縮コイルばね

ここで，

P:荷重, D:コイルばねの平均直径, R:コイルばねの平均半径(=D/2), d:ばねの外形(線径), H:コイルばね

の高さ, α : コイルばねピッチ角度.

図 3 に図2のコイルばねと同じコイルばねピッチ角 α で展開した様子を示す. AB が有効コイル, AA'および BB'が仮定の腕で長さは R となる.

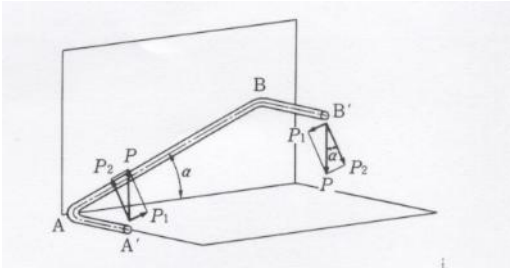


図 3 圧縮コイルばねの展開図

図中, B'点に軸力 P が作用するとして, P の力の分解から, 図に示すようになる. 通常, 圧縮コイルばねにおけるピッチ角 α は 10 度以下なので, 図 3 においては, PR なるねじりモーメントのみを受けているとみなすことができる. コイルばねの形状が真直棒のねじりを考えることにより, 次の式でばね定数およびせん断応力を求めることができる.

$$k = \frac{P}{\delta} = \frac{Gd^4}{8nD^3} \quad (1)$$

$$\tau = \frac{8PD}{\pi d^3} \quad (2)$$

ここで, P: 荷重, δ : たわみ, d: 素材の外形, G: 横弾性係数, D: コイル平均径, n: コイルの巻数

式(1)は大胆な仮定にもかかわらず, 実用的によく使用されている. 一方, せん断応力に関する式(2)は過小評価となる場合がある. その理由は図 4 に示すようにコイル断面の応力分布が内側の方が外側より大きくなる. この修正式はすでにワールの式として提案されている.

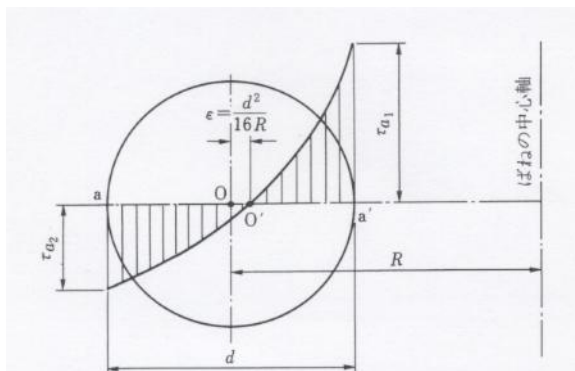


図 4 コイルばね断面の応力分布

図から, コイルばね断面において外側と内側で応力

分布が異なる. すなわち, 内側の応力の方が外側のそれより高くなる.

そこで, 応力分布の偏心をコイル自身の形状で防ぐため, 植物の蔓巻き曲線に着目する.

2.3 3次元 CAD による造形および解析結果

形状作成には3次元 CAD, Pro-ENGINEERを使用する. 本ソフトウェアは表 1 に示す特徴を備えている.

表 1 Pro-Engineer の特徴

米国が開発した機械設計用上級クラスの CAD ソフト
1. 単位形状(フィチャー)機能
2. パラメトリック機能
3. リレーション機能, など

形状作成および解析は次のようになる.

3D-CAD → IGES → FEM

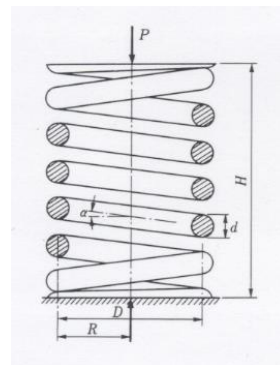
ここで, 省略用語は下記の通りである.

CAD: Computer Aided Design

IGES: The Initial Graphics Exchange Specification

FEM: Finite Element Method

対象コイルばねの基本寸度を図 5 に示す. 底面および上面の直径が一定の直線型コイルばねと, 底面と上面の直径が異なる螺旋形コイルばねの 2 種類について検討した.



H=1000, D1=300, D2=100, d=φ 30, n=5

図 5 コイルばねの寸度

Pro-ENGINEER によるコイルばねの造形には, おおよそ次の手順で行った.

1. 方程式使用 → 実行
2. 座標系の選択
3. 座標系設定 → 円柱 あるいは径の長さ
4. 巻数, 高さ

汎用ソフトウェア NASTRAN を使用した. 解析条件

を表 2 に示す。

表 2 解析条件

負荷条件	コイルばね先端に集中荷重
支持条件	コイルばね下端固定
要素の種類	ソリッド要素
要素の数	約 2,000
要素形状	六面体
解析ソフト	NASTRAN

ここでは、螺旋型を例に解析結果を述べる。螺旋型とは上面と下面の径がことなり、平面視ではアルキメデス螺旋である。

図 6 に螺旋型コイルばねの一定円断面原型および応力解析結果を示す。なお、底面のコイルばね直径が $D1 = \phi 300$ 、上面直径は $D2 = \phi 100$ である。応力の表記は von Mises 応力であり、図中応力分布の色分けは赤色になるに従い高い値を示す。

図 7 に螺旋型コイルばねの一定円断面しかもコイル本体にねじりを負荷した場合の原型および応力解析結果を示す。

図 6 では、底面にしかも内側で高い応力分布を示す。一方、図 7 に示すように初期ねじりを負荷した場合、ほぼ一定の応力分布を示す。

3. 結果

1. 螺旋型コイルばねについての解析結果は下方に応力の高い箇所があった。
2. 螺旋型コイルばねに初期不整としてねじれを負荷することによって応力分布の一定なる結果を得た。

初期不整を付加することによって、初期設計から内在するコイルばねの応力不釣合いを消去できることが分かった。

4. 結論

蔓科植物からデザインを学ぶに当たり、蔓を有する植物を観察した。蔓には右巻きと左巻きがあり、さらに途中に直線部を有することが分かった。この理由はねじれにより発生する反力を消去させるためと推定できる。

一般に使用されている圧縮コイルばねには設計段階ですでにコイルばね自体断面におけるせん断応力分布は不均一となっている。すなわち、内側のせん断応力が

高い。

そこで、この不均一を消去するため、初期ねじりを負荷することによって、各断面において均一な応力分布を得ることができた。

5. 今後の進め方

定性的な解析によって、当初から具備している断面のせん断応力の不釣合いを、初期不整によって解決できることが分かった。今後、定量的な設計情報を得るため詳細に検討していく。

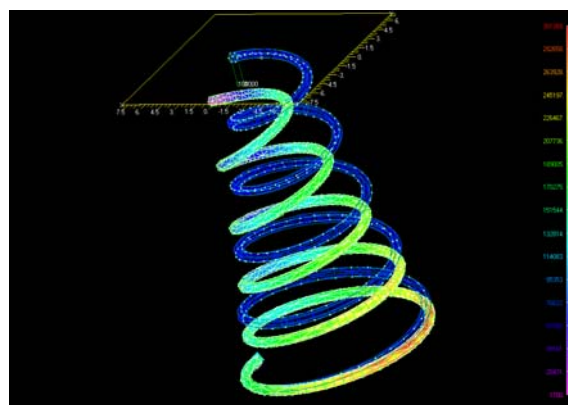


図 6 螺旋型コイルばねの一定円断面の原型図および応力解析結果

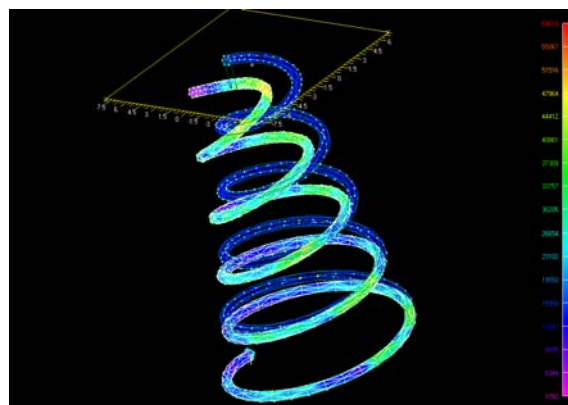


図 7 螺旋型コイルばねのねじれ面を有する一定円断面の解析結果

謝辞

桜井研究室大学院生井上剛郎君には解析についてご協力を頂いた。ここに感謝します。

参考文献

- (1) 日本図学会編, 美の図学, 森北出版, 1998
- (2) ニッパツ・日本発条(株)編, ばね, 工業調査会, 1995