

1. はじめに

航空機、自動車、建設構造物、医療材料など近年、様々な分野での応用が期待されている折り紙構造は、単に剛性や強度を高めた薄肉構造ということに留まらず、折り畳み機能やばね性能など、様々な付加性能を与えられることが注目されている。実物を製作するのが困難な複雑な折り紙構造では、有限要素法等の数値解析により挙動を予測するのが有効である。しかし、折り目が多く応力集中等の影響を受けやすい複雑な薄肉構造では、要素分割等が精度に与える影響が大きいため、本研究では、ミウラ折り等にも拡張され得る基本的な折り紙構造であるダイヤカット円筒¹⁾について、要素分割数の違いが剛性や座屈挙動に与える影響について確かめる。

2. 解析手法

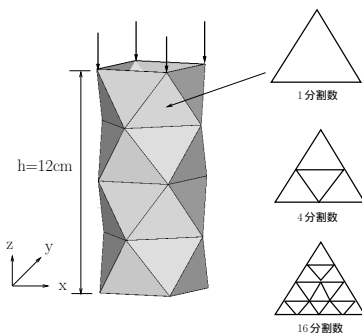


図-1 ダイヤカット円筒モデル

図-1 に示す解析モデルは、アルミ缶飲料程度の寸法と材料定数を想定し、半径 3cm, 高さ 12cm, 厚さ 0.2mm, ヤング率 69GPa とする。円筒の開口部の 1 端を固定し、他端から軸方向に圧縮する。ダイヤパターンは折れ角をなす二つの三角形によって構成されているが、この三角形の周方向、高さ方向の個数をここではパターン数と呼ぶことにす

る。解析には GPL ライセンスの有限要素解析ツール Calculix²⁾を用い、三角形 1 パターンを 6 節点三角形シェル要素 (S6) で図-1 に示すように、1, 4, 16 分割した解析を行い比較する。

3. ばね定数

ダイヤカット円筒を圧縮した変位量から求まる軸方向のばね定数を、円筒のばね定数で無次元化し、図 2~4 に示す。周方向、高さ方向パターンそれぞれの変化に対するばね定数を 3 次元プロットで示している。高さ方向のパターンを大きくするとばね定数は小さくなり、周方向パターンを大きくするとばね定数は大きくなる。最もばね定数が大きくなる組み合わせは周方向パターンが大きく、高さ方向パターンが小さいところで、円筒のばね定数よりも 2 割程度大きくなる (16 分割の場合)。以上の傾向はいずれの要素分割数の場合でもほぼ成り立つが、要素分割が粗い (とくに 1 分割) 場合は、周方向、高さ方向の分割数に対して単調な増減ではなく、近接するパターン数でばね定数の値が凸凹している。要素分割が細くなるにつれて、ばね定数はなめらかに変化するようになる。4 分割と 16 分割では、ばね定数の分布形状は似通っているが、全体的に 4 分割の方が 16 分割より大きめの値である。

4. 座屈荷重

座屈荷重についても要素分割数を変えた結果を図 5~7 に示す。この座屈荷重は、図のようなパターン数ごとに異なる局部座屈の座屈荷重を円筒の座屈荷重で無次元化したものである。ばね定数の場合はどの要素分割数でも周方向、高さ方向のパターン数に対して同じような分布傾向が認められたが、座屈荷重の場合は、要素分割数が変わるとパターン数に対する分布形状がかなり変わっている。1 分割、4 分

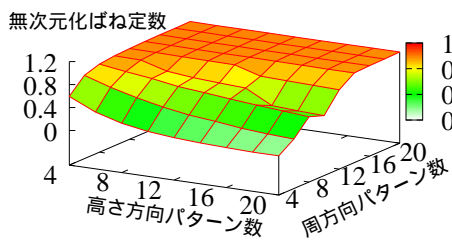


図-2 ばね定数 (1 分割数)

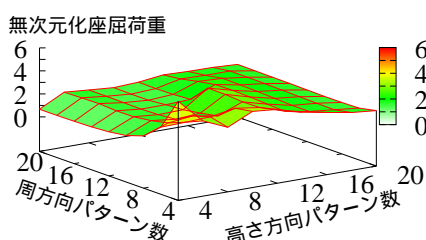


図-5 座屈荷重 (1 分割数)



図-8 座屈モード (1 分割数)

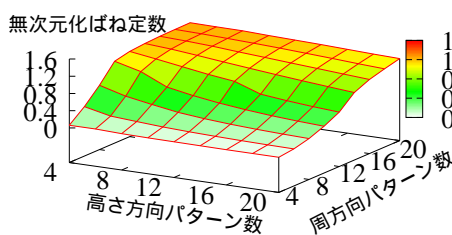


図-3 ばね定数 (4 分割数)

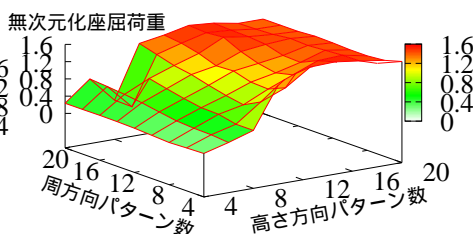


図-6 座屈荷重 (4 分割数)



図-9 座屈モード (4 分割数)

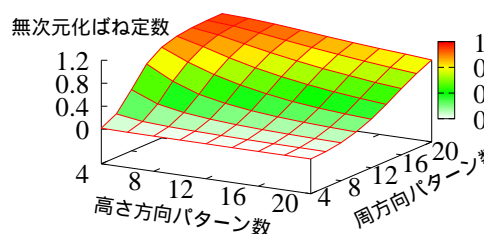


図-4 ばね定数 (16 分割数)

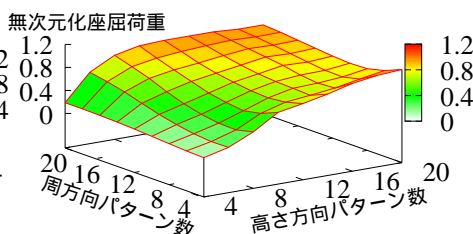


図-7 座屈荷重 (16 分割数)

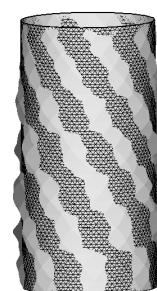


図-10 座屈モード (16 分割数)

割では、パターン数の変化に対して凹凸が目立ち、それに比べると16分割が最もなめらかな分布をしている。図8~10に円筒に最も近い周方向パターン数が20、高さ方向パターン数が20の円筒の場合の座屈モードを示す。要素分割数によって現れている座屈モードが異なっており、これにより座屈荷重も大きく異なっているものと思われる。他のパターン数の円筒においても、多かれ少なかれ座屈モードの違いが見られる。

5. まとめ

ダイヤカット円筒の要素分割数を変化させ、軸方向圧縮に対するばね定数と座屈荷重・座屈モードを有限要素解析により求めた。ばね定数については、要素分割数が変わると、パターン数の変化に対するばね定数の分布は、値は多少増減するものの、似たような形状を示し、高さ方向パターンが小さく周方

向パターンが大きい時に円筒よりも大きいばね定数となることが分かった。一方、座屈荷重は、要素分割数が変わると、座屈モード自体が変わってしまうことにより、パターン数の変化に対する分布形状も変わってしまうことが分かった。16分割の場合の座屈荷重は、比較的なめらかな分布を示した。以上の結果より要素分割数を変えることにより、ばね定数、座屈挙動に大きな影響を与えていることが分かった。よってメッシュ依存性は認められると考えられる。

参考文献

- 刈屋栄仁, 工藤康広, 後藤文彦: ダイヤカット円筒の剛性特性, 平成20年度土木学会東北支部技術研究発表会講演概要集 (CD-ROM), 1-23, p.45-46, 2009.
- <http://www.calculix.de/>