

ダイヤカット円筒折り紙構造の挙動

環境工学講座 7505615 刈屋 栄仁
指導教員 後藤 文彦

1. はじめに

缶飲料などに用いられているダイヤカット円筒は、ミウラ折りなどに代表される折り紙工学を応用した構造である。こうした折り紙構造は、軽量の部材で高強度を発揮させたい宇宙構造物を始めとして、航空機、自動車、建設構造物など、さまざまな分野で応用される可能性を秘めている。ダイヤカット円筒は、薄い材料でより高い強度を得ることを目的としており、円筒の座屈モードに似た図-1 のようなダイヤ型のパターンをもつ。本研究では、ダイヤカット円筒の周方向、高さ方向のパターン配置が、剛性や座屈荷重とどのような関係を持っているかを数値解析により調べる。

2. 解析手法

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。ダイヤパターンは、折れ角をなす 2 つの 3 角形によって構成されているが、この 3 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と、周方向、高さ方向のそれぞれに 4~25 パターンの組合せのモデルを解析する。解析には、GPL ライセンスの有限要素解析ツール CalculiX を使い、3 角形 1 パターンを 6 節点 3 角形シェル要素で 4 要素に分割して解析する。境界条件は、円筒の上端開口部は x, y 方向の変位を拘束し、下端開口部は x, y, z 方向の変位を拘束する。つまり、上端開口部が軸方向にのみ並進変位できるようにする。载荷は、軸方向の圧縮・引張と円筒中心線方向への圧縮・引張を行う。軸方向の圧縮・引張は、上端開口部の全節点に軸方向の荷重を与える。円筒中心線方向への圧縮・引張は、円筒が鉛直に立っているとした場合、すべての節点から水平面内で円筒の中心に向かう方向に荷重を与える。つまり、円筒中心線方向への圧縮は、円筒が外側から外圧を受けているのに近い状態を想定しており、引張は、円筒が内側から内圧を受けているのに近い状態を想定している。

3. 解析結果

载荷節点の荷重の総和を、ある 1 つの载荷節点の载荷方向変位で除することで、円筒のばね定数を求める。軸方向圧縮・引張を受ける場合のばね定数を、周方向・高さ方向のパターン数に対して図-2 に示す。圧縮でも引張でも同じパターンに対するばね定数は同じである。高さ方向のパターン数が変化してもばね定数があまり変化がないが、周方向のパターン数は増えるほど、ばね定数も大きくなっている。円筒中心線方向への圧縮・引張を受ける場合のばね定数を周方向・高さ方向のパターン数に対して図-3 に示す。圧縮でも引張でも同じパターン数に対するばね定数は同じである。周方向のパターン数が少なく、高さ方向のパターン数が多い場合が最もばね定数が大きくなっている。

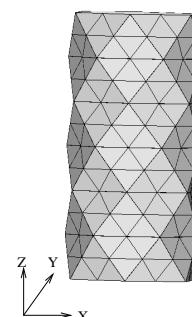


図-1 解析モデル

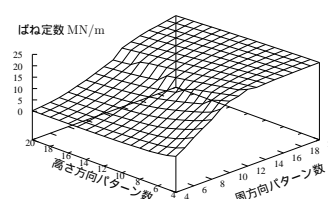


図-2 ばね定数 (軸圧縮)

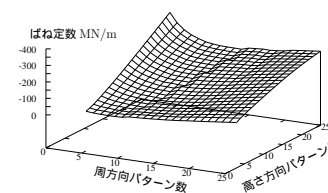


図-3 ばね定数 (中心方向圧縮)

軸方向圧縮・引張、円筒中心線方向圧縮・引張に対する座屈荷重を、周方向・高さ方向のパターン数に対してそれぞれ図-4, 5, 6, 7 に示す。また、それぞれに対応する代表的なケース(周方向9パターン、高さ方向6パターン)の座屈モードを図-8, 9, 10, 11 に示す。軸方向圧縮を受ける場合の座屈荷重は、周方向・高さ方向のパターン数に対して単調な増加・減少の関係にはないが、座屈荷重が相対的に高くなるパターン組合せの領域があるようだ。軸方向引張時の座屈荷重は、座屈解析が収束しにくく、周方向5~9パターン時にしか座屈荷重が求められなかった。座屈モードでは局部座屈が下方開口部に現れたが、拘束条件の影響で現れたのかもしれない。引っ張り座屈は情報が少ないため、はっきりとしたことは言えない。

円筒中心方向への圧縮の座屈荷重は、高さ方向パターンが多くなるほどに座屈荷重が高くなるが、周方向パターンが多くなるほど、減少していき一定の値に収束していく。円筒中心方向への圧縮の座屈荷重が、円筒中心方向への圧縮のばね定数と対応しているようだ。座屈モードは、高さ方向に1次または3次の座屈モードが見られる。円筒中心方向への引張の座屈荷重は、周方向・高さ方向のパターン数に対して単調な増加・減少の関係にはないが、座屈荷重が相対的に高くなるパターン組合せの領域があるようだ。座屈モードは1つの三角形パターンの中に1半波のモードが見られた。

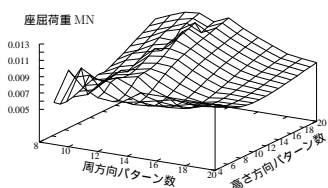


図-4 軸圧縮時座屈荷重

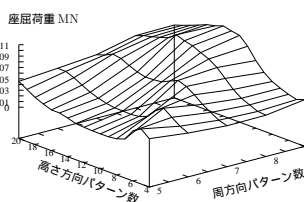


図-5 軸引張時座屈荷重

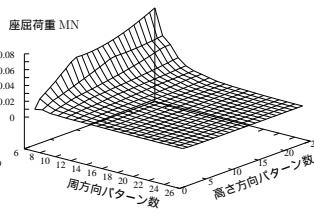


図-6 円筒中心方向圧縮時座屈荷重

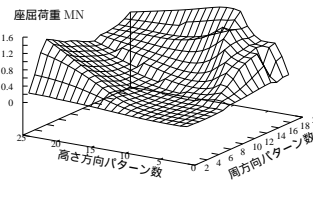


図-7 円筒中心方向引張時座屈荷重

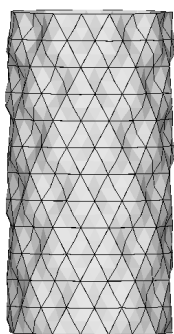


図-8 軸圧縮時の座屈モード



図-9 軸引張時の座屈モード

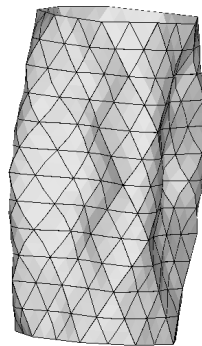


図-10 円筒中心方向圧縮時の座屈モード



図-11 円筒中心方向引張時の座屈モード

4. まとめ

ダイヤカット円筒のパターン数の組合せを変化させ、軸方向・円筒線中心方向の圧縮・引張を受ける場合のばね定数と座屈荷重、座屈モードを数値解析により求めてみた。ばね定数は、パターン数の変化に対して比較的単調な変化を示すが、座屈荷重や座屈モードは、パターン数や荷重方向に対して、それぞれ特徴的な挙動を示す。軸方向圧縮、軸方向引張、円筒中心方向引張は、周方向パターン、高さ方向パターンの組合せにより座屈荷重が相対的に高くなるパターン組合せの領域があるようだが、ばね定数と座屈荷重の相関も、高くはないようだ。円筒中心方向圧縮は、座屈荷重が、周方向パターンが少なく、高さ方向パターンが多くなる時座屈荷重が大きくなる。ばね定数も、周方向パターンが少なく、高さ方向パターンが多くなる時硬くなっていることより、円筒中心方向圧縮時には、ばね定数と座屈荷重にある程度の相関があるようだ。

参考文献

1) Kouryo MIURA: Proposition of Pseudo-Cylindrical Concave Polyhedral Shells, ISAS report, Vol.34, No.9, pp. 141-163, 1969.