

# ダイヤカット半円筒折り紙構造の挙動

環境構造工学講座 07636 田部井 香月  
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折り紙構造は、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、折り目のない円筒に比べて外圧に対する強度が高くなるが、本研究では、ダイヤカット円筒折り紙構造を半分に切ったダイヤカット半円筒が、屋根構造やU字箱桁に利用できないかという観点から、その曲げ剛性や座屈荷重とダイヤパターンとの関係について数値的に考察する。

## 2. 解析モデル

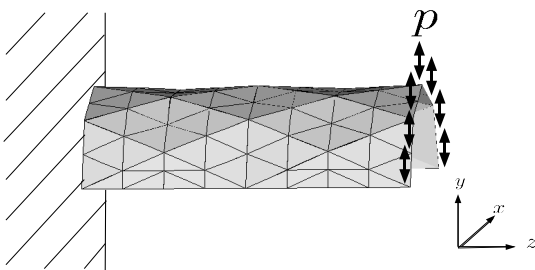


図-1 解析モデル

解析モデルは、アルミ程度のヤング率 70GPa、ポアソン比 0.3 の材料定数で、アルミ缶飲料程度の寸法を想定し、半径 3cm、高さ 20cm、厚さ 0.11mm のダイヤカット円筒から切り出した半円筒モデルを解析対象とする。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 CalculiX<sup>1)</sup>を用い、三角形 1 パター

ンを 6 節点三角形シェル要素で 4 要素に分割し、さらにその 1 要素を 4 要素に分割して解析する。載荷・拘束方法として、図-1 のようにモデルの一端の  $x, y, z$  方向変位を拘束し、もう一端に載荷部の全節点で除した荷重を  $y$  方向に載荷する。

## 3. 解析結果

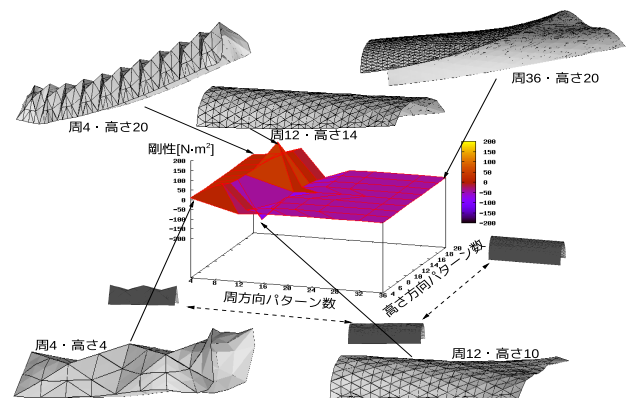


図-2 曲げ剛性上向き載荷

ダイヤカット半円筒を片持ち梁として、自由端部周の全節点に鉛直方向載荷した場合の曲げ剛性を、周方向パターン数と軸方向パターン数に対して 3 次元プロットしたものを図-2 に示す。荷重は、図中の変形図のように山側を上として、上向きに載荷している。変形図は、左端が固定端、右端が自由端載荷部である。曲げ剛性 ( $EI$ ) は、たわみの式 ( $v = \frac{P\ell^3}{3EI}$ ) に有限要素法により求めた荷重と自由端部中央のたわみを代入して求めている。周方向パターン数が 16 付近よりも多い領域では、剛性が負となっているが、これは、図中の変形図に見られるように、周方向パターン数が増えて断面が円弧に近くなると、円弧両端部を外側に広げる曲げが作用するためである。このことにより、円弧中央付近が、円弧の中心方向に反転しながら変形するために、荷重方向と逆方向の変位を生じ、剛性が負となる。周方向パターン数が少ない場合は、図中の変形図に見

られるように端部がくの字型に変形し、特に周方向パターン数 12 付近で高い剛性を示す。

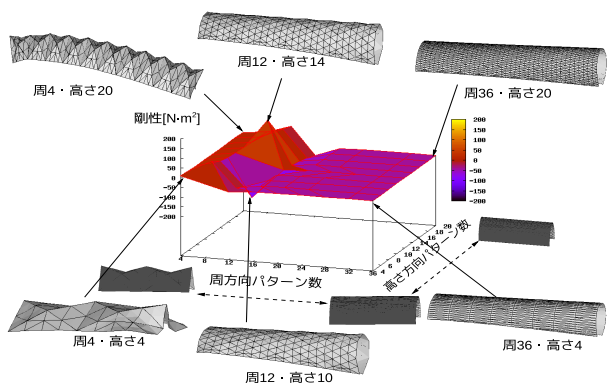


図-3 曲げ剛性下向き载荷

また、半円筒の山側を上として下向きに载荷した場合の曲げ剛性を図-3 に示す。下向きに载荷した場合、数値は同じで正負逆の変位が得られたので、剛性は上向きに载荷した場合と同様である。端部の円弧両端の水平変位については、上向き载荷の場合は、図中の変形図のように横方向に広がるが、下向き载荷の場合は横方向に縮んで円状に丸まっていくような変形となる。

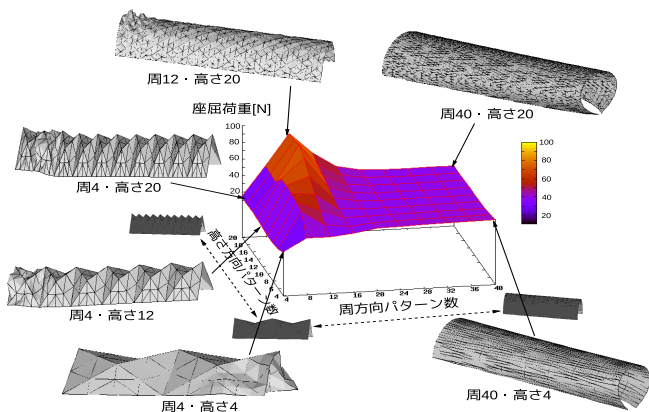


図-4 座屈荷重上向き载荷

同様の解析手法で、図中の変形図のように山側を上として、自由端の上向きに载荷した場合の座屈荷重を同様に図-4 に示す。図から分かるように周方向パターン数が 12 付近に座屈荷重のピークがあり、周方向パターン数が増えるにつれて座屈荷重は減少し、周方向パターン数 20 付近以上では、あまり変化はない。図中の座屈モードを見ると、周方向パターン数が少なく、高さ方向パターン数が多いとき

では、固定端付近に局部座屈を生じている一方、周方向パターン数が増加し、高さ方向パターン数が減少するにつれて、自由端側に局部座屈が生じる傾向がある。座屈荷重が大きくなるのは、周方向パターン数が 12 付近で、剛性が大きくなるところと近い傾向が認められるが、座屈モードは、曲げ変形の形状とは異なっている。

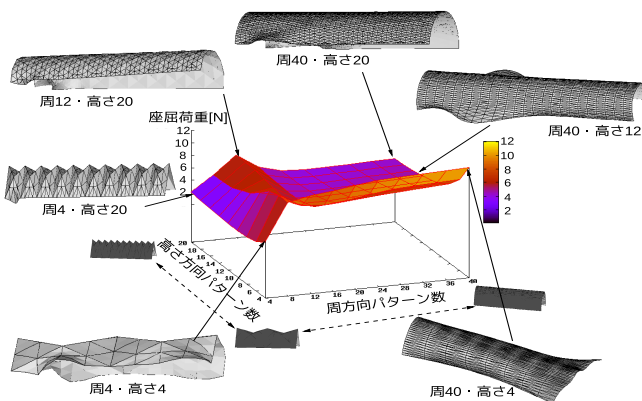


図-5 座屈荷重下向き载荷

同様に、山側を上として、自由端の下向きに载荷した場合の座屈荷重を図-5 に示す。上向きに载荷した場合と同じく、周方向パターン数が 12 付近で座屈荷重が大きくなっており、周方向パターン数が増えるにつれて座屈荷重は減少し、周方向パターン数 20 付近以上では、あまり変化はない。ただし、高さ方向パターン数が 4 付近では、周方向パターン数が増加すると座屈荷重は増加している。

#### 4. まとめ

ダイヤカット円筒から切り出して作られる半円筒のダイヤパターンと剛性、座屈特性について数的に解析した。曲げ剛性は、高さ方向パターン数よりも周方向パターン数の変化に敏感で、パターン数によって剛性にピークが現れることが確認された。座屈荷重も比較的周方向パターン数に対して敏感で、座屈モードは、曲げ変形形状とは必ずしも対応しないことが認められた。

#### 参考文献

- 1) <http://www.calculix.de/>
- 2) 柴田勝也、後藤文彦：折り畳み円筒折り紙構造のパネ性能、平成 21 年度 土木学会東北支部技術研究発表会講演概要集 (CD-ROM), I-27, 2010.