

ダイヤカット半円筒を用いた折り紙構造の挙動

秋田大学 大学院 ○学生員 江村 拓郎
 秋田大学 大学院 学生員 田部井 香月
 秋田大学 大学院 学生員 柴田 勝也
 秋田大学 大学院 正 員 後藤 文彦

1. はじめに

吉村パターンの折り目が施されたいわゆるダイヤカット型の円筒折り紙構造は、折り目のない円筒に比べて外圧に対する剛性が高くなるが、本研究では、この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¹⁾。また、ダイヤカット円筒折り紙構造を 1/4 に切ったダイヤカット 1/4 円筒を互い違いにつなぎ合わせた波形構造について、防雪柵やガードレールに利用できないかという観点からも、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

解析モデルは、実構造物規模のものよりも、まずは直観的に想像しやすい荷重規模のものとしてアルミ缶飲料程度の寸法と材料定数を想定し、ヤング率 70GPa, ポアソン比 0.3, 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と、同じ円筒から切り出した 1/4 円筒を互い違いに組み合わせた波形構造を解析対象とする。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 CalculiX²⁾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 要素に分割して解析する。

3. ダイヤカット半円筒モデル

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载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-1 に示す。荷重は、図中の変形図のように山側を上として、上向きに载荷している。変

形図は、左端が固定端、右端が自由端载荷部である。曲げ剛性 (EI) は、たわみの式 ($v = \frac{Pl^3}{3EI}$) に有限要素

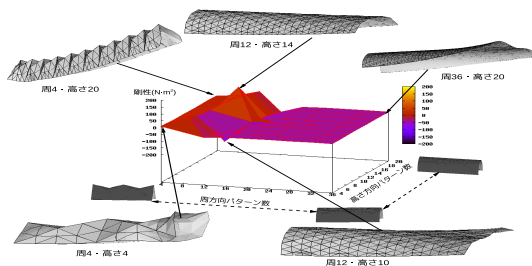


図-1 半円筒の剛性

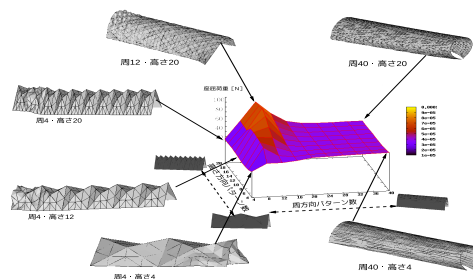


図-2 半円筒の座屈荷重

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し、円弧中央部に負方向の変位を生じるためである。そのため、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。なお、半円筒の山側を上として下向きに载荷した場合は、正負逆で同じ数値の結果が得られる。

同様の解析手法で線形座屈解析により求めた座屈荷重を図-2に示す。载荷の向きは、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ている。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多くなり、高さ方向パターン数が少なくなるにつれて、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。

4. 1/4円筒を組み合わせた波形構造

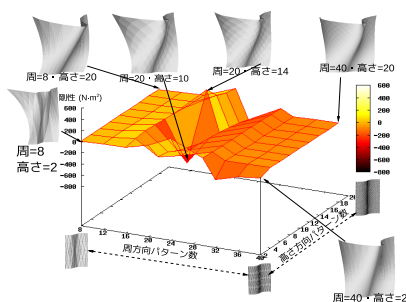


図-3 1/4円筒を組み合わせた波形構造の剛性

波形構造の剛性を半円筒の解析と同様に解析しプロットしたものを図-3に示す。荷重は水平(奥行き)方向に载荷している。変形図は、下端が固定端、上端が自由端载荷部である。曲げ剛性は半円筒の場合と同様に求めていく。周方向パターン数が24付近よりも少ない領域では剛性が正、それよりも多い領域では剛性は負となっている。これは半円筒の解析で剛性が負になる理由と同じで、図-3のように载荷部中央を折り目として二つ折りになるように変形して中央部に負方向の変位を生じているためである。周方向パターン数が24より少ない領域では、载荷部中央部の折り目が内側に折れ曲がるように変形する。これは荷重方向と同じ方向の変位なので剛性は正となる。特に周方向パターン数20付近で高い剛性を示す。周方向パターン数が多い場合には内側に折り曲がっていた折り目が徐々に外側に反転しながら変形し、荷重方向と

は逆に変位するため剛性は負となる。

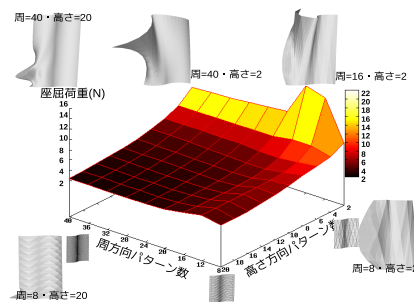


図-4 1/4円筒を組み合わせた波形構造の座屈荷重

波形構造の座屈荷重を半円筒の解析と同様に解析しプロットしたものを図-4に示す。荷重は水平(奥行き)方向に载荷している。図から分かるように周方向パターン数が16付近に座屈荷重のピークがあり、高さ方向パターン数が増えるにつれて座屈荷重は減少している。周方向パターン数の変化にはあまり影響を受けていない。図中の座屈モードを見ると高さ方向パターン数が2付近では、自由端付近に局部座屈を生じている一方、高さ方向パターン数が増えてくるに連れて、固定端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、高さ方向パターン数が2付近で、周方向パターン数が16付近では特に大きい。

5. まとめ

ダイヤモンド円筒から切り出して作られる半円筒や、波形構造のダイヤパターンと剛性、座屈特性について数値的に解析した。曲げ剛性は、半円筒・波形構造共に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。座屈荷重は、半円筒では比較的周方向パターン数に対して敏感であるのに対し、波形構造では高さ方向パターン数に対して敏感である。座屈モードは、両モデル共に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) 江村拓郎, 田部井香月, 柴田勝也, 後藤文彦: ダイヤカット半円筒折り紙構造の挙動, 平成22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-36, 2011.
- 2) <http://www.calculix.de/>