

伸縮できる円筒折り紙構造のバネ性能

環境構造工学講座

06629

柴田 勝也

指導教員

後藤 文彦

1. はじめに

薄い1枚の板を折り曲げて様々な機能を持たせた折り紙構造は、外力レベルが低く薄板で構成される宇宙構造物で多用されるが、近年、医療機器や建築構造など、より広い領域での応用が期待されている。本研究では、伸縮できる円筒折り紙構造が持つバネ特性を橋梁の支承に利用することを想定している。近年、通常時や地震時の鉛直力、水平力への対応を別々の支承に受け持たせる機能分離型支承や、それらを一体化させた機能複合型支承などが考案されている。そこで、伸縮できる円筒折り紙構造が、折り目パターンによって、鉛直方向と水平方向にどのようなバネ特性を示すかを数値解析してみる。

2. 解析手法

本研究で対象とする伸縮できる円筒折り紙構造は周 s 、高さ l の1枚の板に折り目をつけてつくられた円筒である。周方向パターン数は図-1のように6角形、8角形、10角形の3種類を使い、初期高さが0(完全に折り畳まれる状態)から1(角柱)に変化するにしたがってどのような挙動を示すか数値解析する。折り畳みの段数は20で一定にしている。数値解析には、有限要素解析ツール CalculiX¹⁾を用いる。境界条件は、鉛直方向荷重の場合、下端開口部の各節点を x 、 y 、 z 方向変位を拘束し、上端開口部の各節点の x 、 y 方向変位を拘束する。水平方向荷重の場合、下端開口部の各節点を x 、 y 、 z 方向変位を拘束し、上端開口部の各節点の y 、 z 方向変位を拘束し回転方向も拘束する。なお、円筒折り紙構造を支承に利用する場合、1枚の板をプレス加工などで折り曲げて溶接接合すると、溶接部が弱点となるこ

とが想定される。そこで、円筒状に折り曲げて接合しない切れ目のある円筒として利用する場合も考える。切れ目のあるモデルは、切れ目部に節点を2個設けて二分された節点と同じ座標点に位置する。

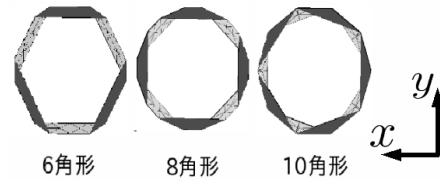


図-1 周方向パターン数

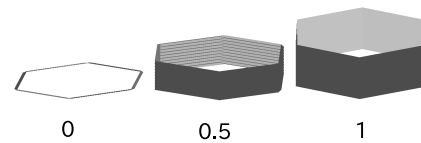


図-2 初期高さ

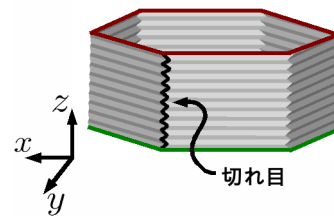


図-3 境界条件

3. 数値解析

荷重は100kNを鉛直、水平に載荷する。その載荷方法は、鉛直、水平どちら

表-1 材料諸元

厚さ t	3mm
円筒の高さ l	25cm
円周 s	150cm
ヤング率 E	206GPa
ポアソン比	0.30

らも端開口部の各節点に等分布に載荷する。荷重 P と載荷点の載荷方向変位 δ から円筒のバネ定数 $k = \frac{P}{\delta}$ を求め、材料のヤング率から求まる円断面円筒の軸方向バネ定数 $k_{円} = \frac{EA}{l}$ で無次元化して、図-4から図-7に示す。ここで、 E はヤング率、 A は開口端部断面積である。円筒の材料諸元は、表-1に示す。

図-4 は接合している折り畳み円筒に鉛直方向の荷重を載荷したときの初期高さ h_0 と k_e/k のグラフである。円筒の初期高さが1(角柱)に近づくに従って、 k_e/k の値が大きくなっていった。バネ定数の値は周方向パターン数が6、8、10角の順に大きくなった。また、切れ目のある円筒も同様に荷重を載荷をした結果、図-5 のようになり、図-4 とほとんど変わらなかった。

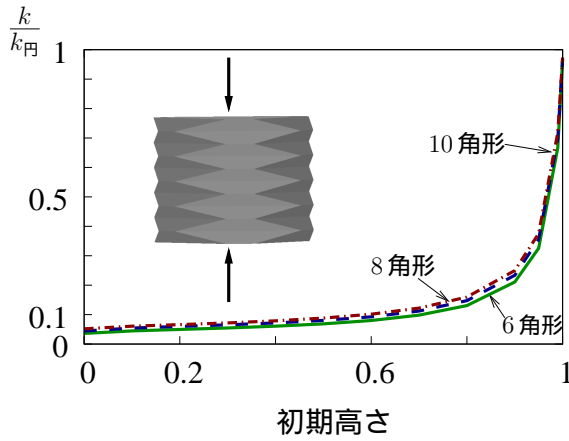


図-4 軸方向荷重 (切れ目なし)

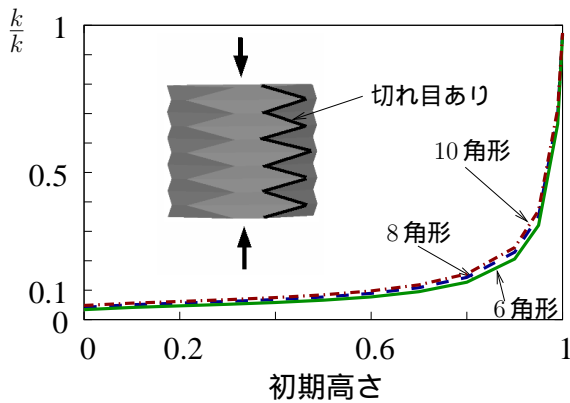


図-5 軸方向荷重 (切れ目あり)

一方、水平方向荷重を載荷したときの初期高さ h_0 と k_e/k の関係は図-6 と図-7 で示される。こちらは軸方向載荷とは逆に初期高さが0(完全に折り畳める状態)のとき k_e/k の値は大きく、初期高さが0.4ぐらいから値があまり変化しなくなった。しかし軸方向載荷の時と違って、6、10、8角の順にバネ定数の値が大きくなった。また、切れ目のある円筒は切れ目に対して方向を変えて載荷した結果、図-7 のように x 軸方向に載荷した時と y 軸方向に載荷した時で、特に6角形の時に k_e/k の値が変わった。

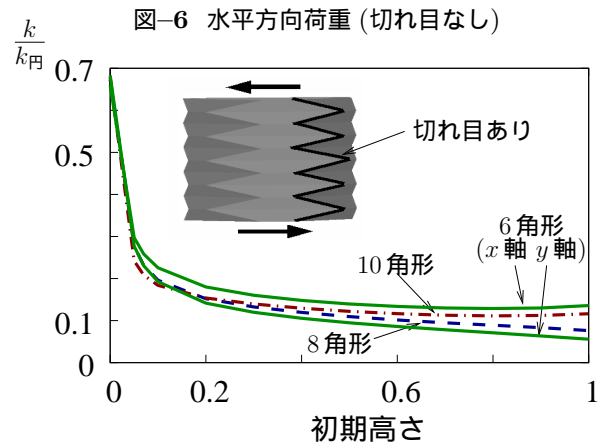
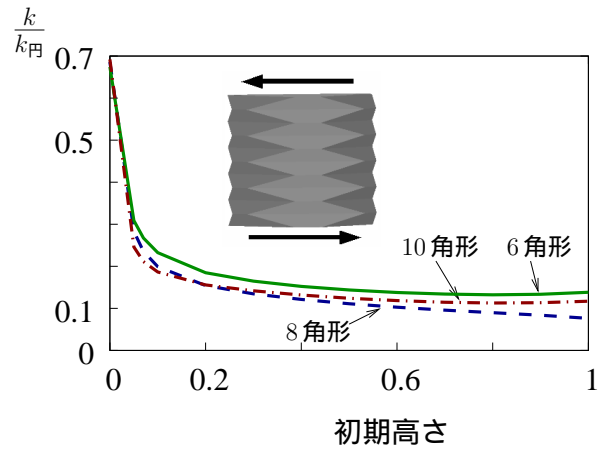


図-7 水平方向荷重 (切れ目あり)

4. まとめ

- 水平方向のばね定数は低く、軸方向のばね定数は高い方が良いので、初期高さは高い方が良いことが分かった。
- 軸方向に載荷された円筒のバネ定数は、初期高さが高いほど指数関数的に大きくなるのに対し、水平せん断方向に載荷された円筒のバネ定数は初期高さが高いほど指数関数的に小さくなる。
- よって、初期高さを調節することで、鉛直方向と水平方向のバネ定数の比率を任意に設定することができる。
- また、円筒の接合部に切れ目がある場合、水平せん断方向の載荷では、切れ目のない場合に比べて、ややバネ定数が低くなるものの、それほど大きな変化はない。

参考文献

- 1) <http://www.calculix.de/>