

## 1. はじめに

折り紙構造は折り紙のように材料に折り目を入れた構造であり、小さく折り畳んだ状態で運搬して現場で展開できる。そのため太陽電池パネルなどの宇宙構造物への利用に留まらず、建築物、自動車、缶やペットボトルの容器など様々な分野への応用が期待されている。その中でも螺旋折りは、図-1のような平行四辺形のパターンを持ち、軸方向に容易に折り畳むことができるため、型枠や容器への利用が考えられる。

そこで本研究では螺旋折りの1種である反転螺旋折りをを用いた反転螺旋折り円筒<sup>1)</sup>の周方向、高さ方向パターンが折りたたみやすさに影響するのかを調べる。

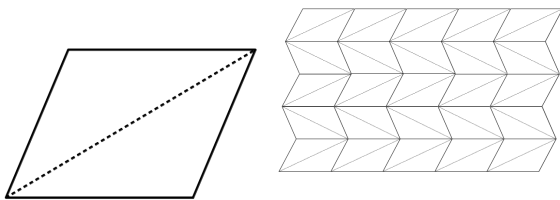


図-1 折り目パターン

図-2 反転らせん折りの折り目パターン

## 2. 解析手法

解析モデルはアルミ缶飲料程度の寸法である半径3cm、高さ12cm、厚さ2mmとし、折り目となる部分には図-4に見られるように別の材料を挟み込む。折り目部分以外のヤング率はアルミ缶の材料定数である69GPaとし、折り目部分のヤング率はそれより十分に小さい値である6.9MPaとする。つまり、折り目部分が剛性を負担しないのに近い状態にしている。

今回は高さ方向、周方向がそれぞれ4~20パターンの組み合わせを4パターンずつ変化させて解析を行う。解析にはオープンソースの有限要素ツールSalome-Mecaを用い、要素は四面体要素で解析する。境界条件は、円筒の下端開口部は $x, y, z$ 方向の変位を拘束、円筒の上端開口部は $x, y$ 方向のみ拘束する。載荷条件は軸方向の圧縮を行い、円筒の上端開口部の全節点に軸方向の荷重を加え、初期高さの10%程度まで折り畳む。

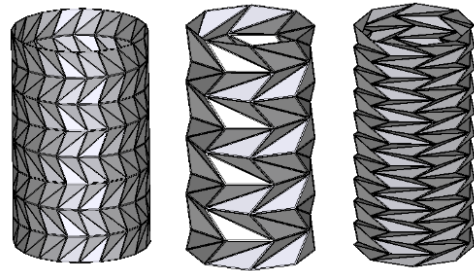


図-3 解析モデル

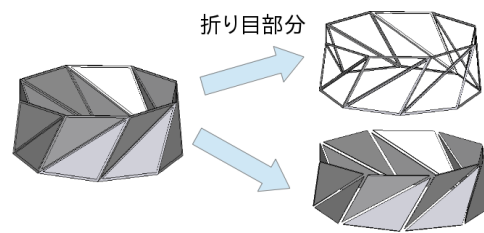


図-4 折り目部分

## 3. 伸び率

折り目部分は折り目方向の回転のみで折りたたまれるの理想的であるが、本研究で使用している解析モデルでは、折り目部分に柔らかい材料を挟んで解析を行うため変形が生じてしまう。そこで折り目部分の変形の大きさから反転螺旋折り円筒の折りたたみやすさを表す指標として「伸び率」を以下に定義する。

図-5に見られるような折り目を除いた三角形部分の外側の頂点の集まる場所ごとに中間点の座標を求める。解析後に折り目を除いた三角形部分の外側の頂点の座標と中間点との距離を求める。この距離の平均を半径で割って無次元化し、伸び率とする。同一周上にある中間点は対象であるため代表する1つを用いる。

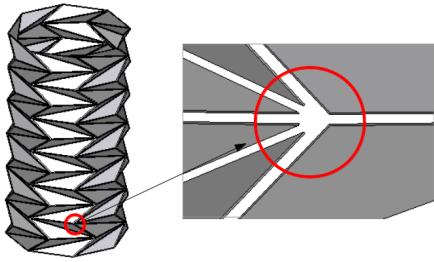


図-5 頂点

変位前

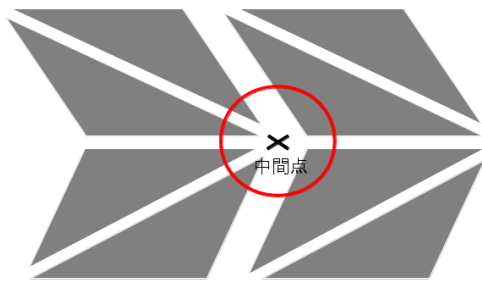


図-6 中間点

変位後

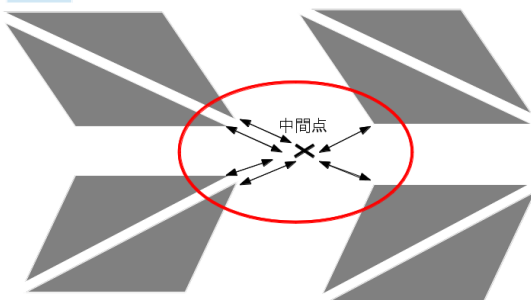


図-7 中間点との距離

#### 4. 解析結果

周方向パターン数、高さ方向パターン数、伸び率の解析結果を図-8に示す。周方向パターン数は変化しても伸び率にあまり変化は見られないが、高さ方向パターン数はパターン数8~20の時にはあまり変化は見られないが、パターン数4の時に大きい値をとった。高さ方向パターン数がそれほど少なくなければ、伸び率は安定していると言える。

高さ方向パターン数4の時に伸び率が大きくなる

理由として、折りたたみ構造として上手く機能していないことが考えられる。高さ方向パターン数4のモデルは図-9に見られるように形状が円筒に近づいており、初期状態での折りたたみがほとんどない。そのため、折り目部分で上手く折りたたみが起こらずに圧縮された可能性がある。

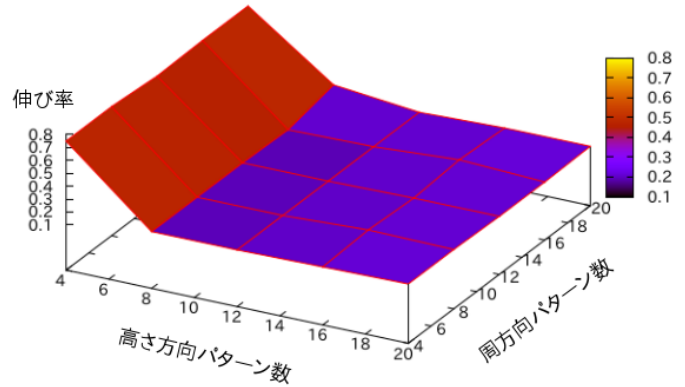


図-8 解析結果

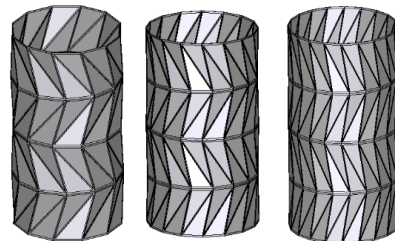


図-9 高さ方向パターン数4のモデル

#### 5. まとめ

反転螺旋折り円筒の伸び率は高さ方向パターン数4の時以外、大きな変化は見られず、安定して折りたたむことができると考えられる。折り目方向の回転のみで折りたたまれる方が折り紙構造としては有利なため、伸び率の小さい構造の方が有利と言える。よって反転螺旋折り円筒は高さ方向パターン数が一定の値より大きければ、安定して折りたたむことができ、折り紙構造として有利と思われる。

本研究では折り目部分にゴムのような柔らかい材料を挟む方法を用いたが、折り目部分を十分に再現できているとは言い難く、ヤング率等の変形挙動の設定を適切にすることで解析精度を改善できる可能性がある。

#### 参考文献

- 1) 萩原一郎、山本千尋、野島武敏、Xin Tao(2004)「反転らせん型モデルを用いた円筒形折り紙構造の圧潰変形特性の最適化検討」, 日本機械学会論文集 (70 巻 689 号)