

螺旋折り円筒の FEM 解析

土木環境工学科 7513708 遠藤 宏大
指導教員 後藤 文彦

(1) はじめに

紙やアルミのような薄くて折り目が付けられる材料に決まった折り目パターンを付けることにより、剛性を高くしたり自由に折りたたむことができるなどの新たな性能を付加したものを折り紙構造という。螺旋折り円筒は、折り紙構造の一種であり、軸方向に弱い力でも簡単に折りたたむことが可能な円筒構造である(図-1)。土木分野では被災時の応急構造物や部材洗浄・材料混合のための現場組立容器などの用途への利用が期待される。本研究ではこうした螺旋折り円筒の基本挙動について、有限要素解析ツールの Salome-Meca を用いたモデル化と解析法を検討する。



図-1 反転螺旋折り円筒(六角形三段)

(2) 解析モデルと解析方法

今回解析するモデルは六角形一段、底辺は一辺 5cm 高さ 6.58cm 厚さ 1mm で折り目はヒンジにする。螺旋折り円筒の一要素(図-2)については六角形モデルなので $n=6$ 角度はそれぞれ $\alpha=30^\circ$ $\beta=45^\circ$ とする。材料特性はアルミ缶のものを使用しヤング率は 70GPa ポアソン比は 0.34 にする。折り目については salome にはヒンジを扱える機能がないので選択グループの変位を同じにする機能を使用し、微小なヒンジを複数使うようにすることで再

現している(図-3)。微小なヒンジは多いほど正確な値がでるが、多くなるほど設定が大変なので今回は一辺に 10 個のヒンジを使っている。また、モデルはシェル要素で作成解析する。シェル要素とは面要素とも言い、薄い材料を実際の厚みではなく数値で与えて計算させるためのもので、紙や布のような薄いものの解析を簡単にすることができる。

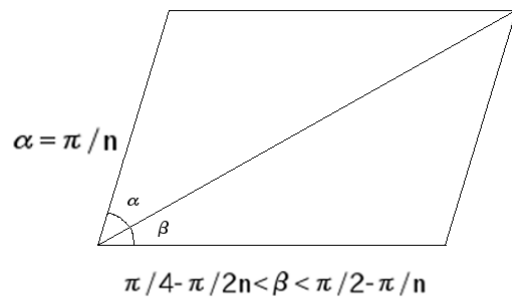


図-2 螺旋折り円筒の一要素の条件

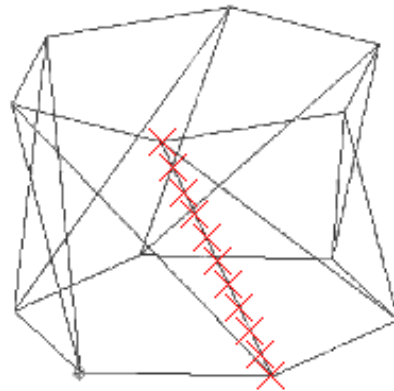


図-3 螺旋折り円筒、印の部分がヒンジ

円筒の上端は回転と水平の変位自由で下方向にのみ 6.5cm 段階的に変位させ、下端は回転、変位を固定する。以上の条件のモデルを段階的に、全体の変位、中立面のミーゼス応力を記録する。

解析方法は線形解析、幾何学非線形有限変位微小変形解析の 2 つの解析法で比較する。線形解析は、物体の荷重の大きさと変位と最大応力が線形の関係

となるような解析法であり、変位と応力がとても小さい解析に使うことができる。幾何学非線形有限変位微小変形解析は、段階的に変位を与えることができ、荷重を与えた時変位は大きく変形は小さいのでエラスティカ理論と同じ挙動を示す。変位と応力が大きくひずみが小さい時に使うことができる。

(3) 解析結果

結果は線形解析では解析モデルの変位部分が広がってしまって正しい変位と変形ができなかった。(図-5) 線形解析では変位が線形で計算されるので回転量などが徐々に変化する螺旋折り円筒を解析出来なかったと考えられる。ただ、ヒンジ部分は面より先に折りたたまれていることがわかるのでヒンジの再現ができているという事が分かる。

幾何学非線形有限変位微小変形解析では 10 段階で変位をさせたが 3 段階目でエラーが出てしまい 2 段階目までしか変位を出せなかった。(図-6) 変位が大きくなると計算が不安定になりエラーが出てしまうためだと考えられる。ただ、変位部分は広がってしまっただが線形解析より広がりが小さかった。よって、幾何学非線形を考慮することにより、螺旋折り円筒の折りたたみの再現はできる。

同じ解析方法でシェル要素ではなくソリッド要素(立体要素)でも解析した。解析結果は 10 段階までエラーが出ず、挙動はほぼ実際の螺旋折り円筒と同じにできた。ソリッド要素での解析はエラスティカ理論との比較が難しく、解析が正確かどうかの検証ができない。しかし、螺旋折り円筒の折りたたみの再現はできるという事が分かった。

(4) まとめ

螺旋折り円筒の折り目をヒンジでモデル化し幾何学非線形を考慮することで、普及しているオープンソースの有限要素ツールにより、折りたたみ現象を表現することができた。また、ソリッド要素では折りたたみ現象の挙動の再現ができた。ただし、現状はシェル要素では軸方向に 10% 程度までしか折り畳めていないので、変位や回転量に制約なく解析できるようにする、そのためにソリッド要素とシェル

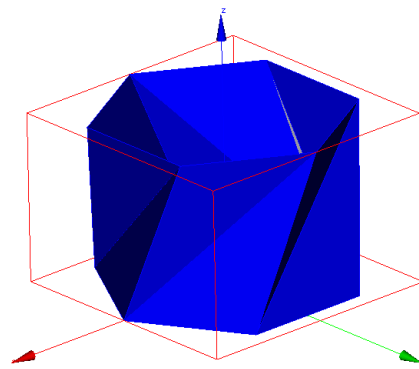


図-4 元の形状

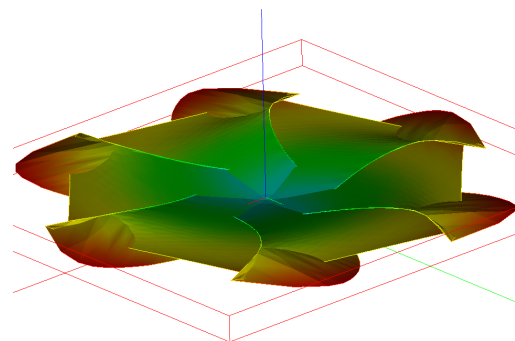


図-5 線形解析

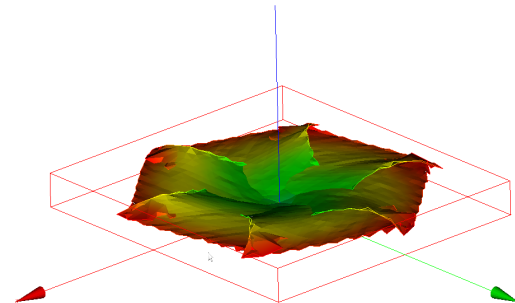


図-6 幾何学非線形有限変位微小変形解析

要素で同じ解析ができないのか方法を探ることが今後の課題である。

参考文献

- 1) 折りたたみの数学ダイヤカットからステント治療まで
<http://sky.geocities.jp/bunryu1011/oritatami.html>
- 2) 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
https://www.jstage.jst.go.jp/article/kikaia1979/70/689/70_689_36/_pdf
- 3) 6.6 大きく変位する棒の力学
<http://www.epii.jp/articles/note/physics/continuum/elastic/elastic>