

非抗圧膜モデルを用いた殻構造の折り畳み解析に関する研究

佐賀大学 学生会員 三藤政信, 木戸弘大

正会員 井嶋克志, 帯屋洋之, 川崎徳明

1. まえがき

宇宙工学の分野のみならず折り畳み可能な工業製品の開発など折り畳み・展開構造に関する多数の研究がある。その多くは紙モデルによる実験的研究や剛板構造による数値解析であり、予め幾何学的考察に基づく谷折れ線配置が必要なため比較的単純な形状に対してのみ有効である。

本研究は、非抗圧膜モデルを用いて数学的に谷折れ線を得ることが困難な任意形状殻構造の折り畳み手法を開発することを目的とし、その準備段階として非抗圧膜モデルによる比較的単純な殻構造の折り畳みシミュレーションを示したものである。非抗圧膜モデルを用いれば、接触判定と明確な折れ線・谷線配置が必要な剛板構造や、平衡解を得ることが困難な弾性殻構造に比べ、折り畳み大変形現象における平衡形状を容易に得ることができる。

2. 線材置換による非抗圧膜モデル

非抗圧膜モデルにより折り畳み解析の利点は、殻構造の変形を張力場理論によって解くため解の唯一性が保証され、弾性殻構造に見られる多重釣合解析となることなく折り目が自由に設定できる点である。

この膜モデルは、膜構造解析に一般的に使用される定ひずみ三角形要素の剛性方程式を用い、これにひずみエネルギー等価な線材ユニット構造¹⁾を構成したものである。線材ユニットは6部材からなり、要素の辺を構成する3本の主材と要素頂点から射出する3本の副材からなる。特に、ポアソン比1/3の場合には3本の副材は互いに平行となり、要素緊張時には図-2の軸力が要素頂点に作用する。主材を柔ケーブルとして頂点3が対辺に一致するとき副材軸力がゼロとなる軸力式を定義すれば、要素緊張時には定ひずみ要素の挙動に等しい完全非抗圧膜モデルとなる。

3. 筒状膜構造物の折り畳み解析例

以下の折り畳み解析では許容不平衡力を $2.0419 \times 10^{-7} \text{ N}$ として収束判定を行い、ヤング率: $200 \times 10^6 \text{ N/m}^2$ 、単位体積重量: 9.016 N/m^3 、膜厚: $0.1 \times 10^{-3} \text{ m}$ の膜材を使用した。

まず、一辺が 10 m の正六角形断面を有する高さ 34.6 m の筒状膜の折り畳み解析例を図-3に示す。上下縁の節点を固定し、図中矢印方向に荷重を加えた状態から、上縁固定節点を徐々に鉛直下方に下げる強制変位を与えれば図のように折り畳むことができる。

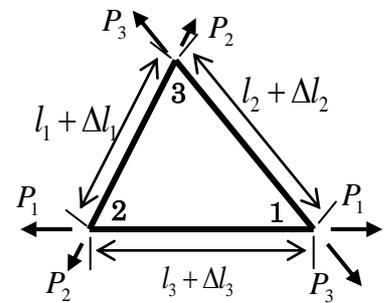


図-1 定ひずみ三角形要素

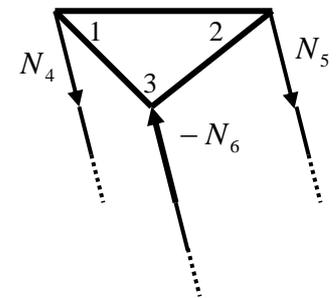


図-2 ポアソン比1/3膜材の線材ユニット構造

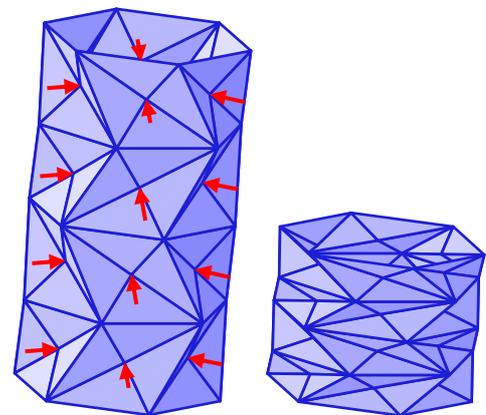


図-3 正六角形断面筒状膜のケース

図-4は横 12 m 、縦 6 m 、高さ 4 m の長方形断面を有する筒状膜の折り畳みである。上下縁の4隅の節点
キーワード：膜構造、折り畳み、非抗圧性、座屈モード

〒840-8502 佐賀市本庄1 佐賀大学工学部都市工学科 TEL 0952-28-8579

を固定し、(a)の初期形状に矢印方向の荷重をかけるとともに上縁4固定点を徐々に鉛直下方に下げることにより折り畳むことができる。

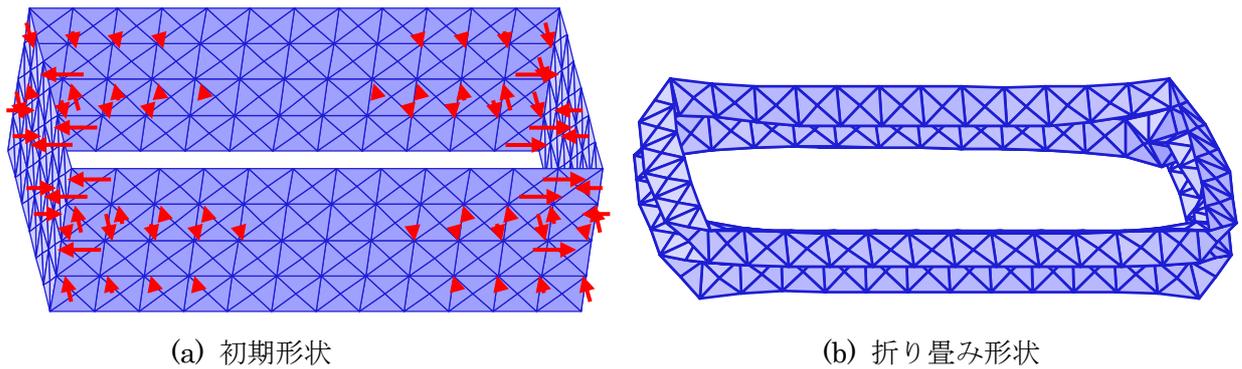


図-4 長方形断面筒状膜圧縮折り畳みケース1

図-5は横12m、縦6m、高さ6mの長方形断面を有する筒状膜の折り畳みである。上下縁の4隅の節点を固定し、(a)の初期形状に図の矢印方向に荷重をかけるとともに上縁4固定点を徐々に鉛直下方に下げることにより図のように折り畳むことができる。

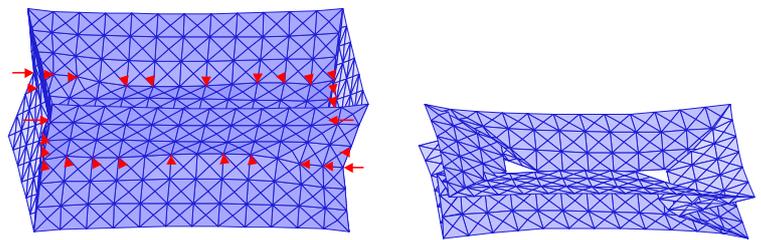


図-5 長方形断面筒状膜圧縮折り畳みケース2

次に図-6は一辺が8mの正方形断面を有する筒状膜の折り畳みである。図-5と同様に上下縁の4隅の節点を固定、(a)の初期形状に矢印方向の荷重をかけるとともに上縁4固定点を徐々に鉛直下方に下げることにより折り畳むことができる。

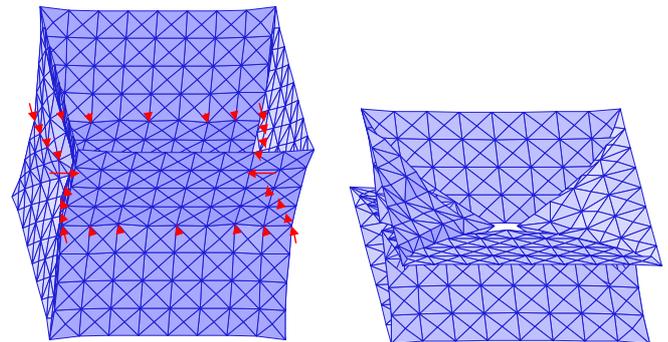


図-6 正方形断面筒状膜のケース

最後に、一辺が8.66m正三角形断面を有する高さ15mの筒状膜の折り畳み解析例を図-7に示す。上下縁の節点は固定し、図の矢印方向に荷重を加えた状態から、上縁固定節点を徐々に鉛直下方に下げる強制変位を与えれば折り畳むことができる。

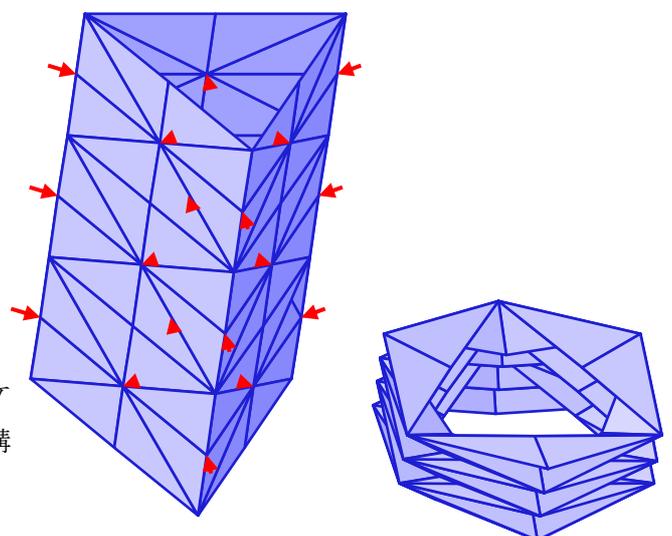


図-7 正三角形断面筒状膜のケース

ここに示した何れの例もニュートン・ラブソン法により比較的少ない反復回数によって平衡解を得ている。

以上の数値計算は全て谷折れ線の明確な例であり、講演時には複雑な殻構造についてその座屈モードに基づく折り畳み解析を非抗圧膜モデルにより示す予定である。

参考文献: 1)井嶋克志、帯屋洋之、川崎徳明：空間柔ケーブルによる非抗圧膜構造モデルの有限変位解析、構造工学論文集, Vol55A, pp.11-22, 2009.3.