

I - A39 圧力を受ける薄膜の膨張と収縮挙動について

大同工業大学大学院 学生員 ○田中 宏明
大同工業大学工学部 正会員 水澤 富作

1. はじめに 軽量の膜は、ドーム、消波用フレキシブルマウンド、飛行船などに用いられている¹⁾。このような膜構造の形状決定問題は²⁾、幾何学的非線形性の強い問題であり、これまでも多くの研究が報告されている。しかしながら、弾性膜の膨張と収縮のメカニズムは、必ずしも明確にされていないように思われる。

本文では、有限要素法と Viscous Relaxation 法を用いて半円筒超弾性膜の膨張と収縮挙動について検討している。特に、内圧の増大に伴う膨張変形と減圧に伴う膨張膜の自重による収縮挙動について明らかにしている。

2. 式の定式化 式の定式化にあたり、次のような解析仮定を設けている。(1)膜の厚さは非常に薄く、曲げ剛性を無視し、面内応力状態を仮定する。(2)面内引張り応力のみに抵抗し、面内圧縮応力には抵抗しない。(3)有限変位と有限ひずみを考慮する。

(4)膜の材料は弾性材料、又は超弾性材料とする。また、仮想仕事の原理と Total Lagrangian 表示に基づく膜要素を定式化し、得られた非線形基礎方程式を解くために、Webster により提案された Viscous Relaxation 法 (VR 法) を適用する³⁾。この方法は、静的つり合い方程式に仮想的な減衰項を付け加えた 1 階の微分方程式を数値積分法と Newton-Raphson 法で解く準動的解析法の一方法である。

一般に、静的なつり合い方程式は、 $F(U) = P(U)$ ……(1)で与えられる。ここで、 F は内力ベクトル、 P は外力ベクトルであり、また U は変位ベクトルである。式(1)を直接解く代わりに、仮想的な減衰項を付加し、次式で示すような 1 階の微分方程式を数値積分法で解く。 $[D]\dot{U} + F(U) = P(U)$ ……(2) ここで、 $[D]$ は仮想減衰マトリックスであり、また $\dot{U}$ は速度ベクトルである。したがって、式(2)を時刻歴積分を行い、速度ベクトルが零になった時、式(1)の解が得られる。ここでは、式(2)で示される 1 階の微分方程式を、陰解法である Crank-Nicholson の数値積分法を用いて数値計算を行っている。

3. 数値計算例と考察 ここでは、図-1 に示すような、半円筒超弾性膜の膨張と収縮挙動について検討している。計算条件は、半円筒膜の半径 $R=3m$ 、長さ $L=9m$ 、初期膜厚 $h_0=3mm$ 、膜の材料を超弾性材料(Mooney-Rivlin 材)の定数 $C_1=110KN/m^2$ 、 $C_2=13 KN/m^2$ とし、対称性を考慮して 1/2 領域のみを 8 節点アイソパラメトリック膜要素で 16 分割している。図-2 には、半円筒膜の自重のみでつり合った半円筒膨張膜の中央断面の中心の変位に与える膨張圧力 P の影響が示してある。また、図-3 は、各圧力における中央断面のつ

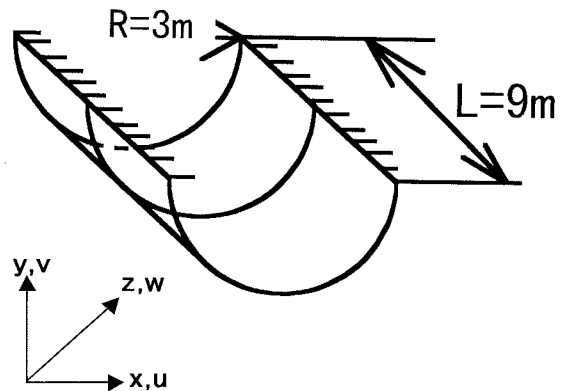


図-1 圧力を受ける半円筒膨張膜

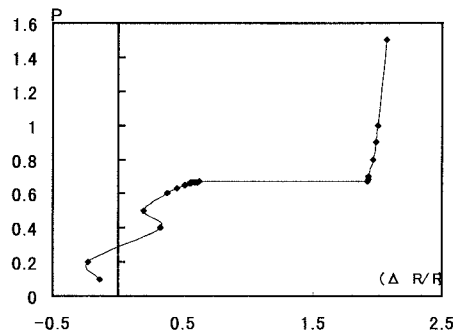


図-2 半円筒膜の中心部変位に与える圧力 P の影響

キーワード： 膜、初期つり合い形状、膨張と収縮、超弾性

〒457-8532 名古屋市南区白水町 4 0 番地

TEL.052-312-5571

FAX.052-612-5953

り合い形状を示す。図-2より、圧力の増加と共に中心部で折れを含む複雑な変形状が示され、また、圧力が0.67になると急激な膨張変形により、飛び移り現象が現れる。この現象は、図-3の $P=0.669$ から $P=0.67$ (psf.)になるとき、急激な膨張変形として現れる。図-4は、自重のみでつり合った半円筒膜に $P=1.0$ (psf.)を作用させて、Viscous Relaxation法により解析し、各ステップでの膨張変形を示したものである。これより、中央部で局所的な収縮により下凸の折れが生じ、ステップの経過と共に、その折れが展開膨張し、つり合い形状へと収束していくことがわかる。一方、図-5には、図-4で求められた膨張つり合い形状から自重のみで収縮する過程をViscous Relaxation法で求めたものである。これより、膨張変形の場合とは異なり、両サイドが早く収縮し中央部を順次巻き込みながら、つり合い形状に収縮していくことがわかる。図-6は、図-4で求められた求められた膨張つり合い形状から強制的に減圧力を作用させ収縮する収縮挙動を示している。これより、膨張挙動とは異なり、両サイドが早く収縮するので、中央部に上凸の折れが生じ、時刻ステップの経過と共に下向きに展開膨張し、つり合い形状に収束していることがわかる。

4. おわりに 本文で得られた結果をまとめると、以下のようになる。1). 圧力を増加させながら、たるみの大きい半円筒膜を膨張させると、中央部に折れが発生し、圧力の増大と共に飛び移り現象を伴い、急激に膨張する。2). 大きな変形を伴った半円筒膨張膜を自重のみで収縮させると、両サイドが早く収縮し、中央部を順次巻き込みながらつり合い形状に収束する。3). 半円筒膜の膨張と収縮変形は異なった性状を示す。

4). 半円筒弾性膜の膨張と収縮挙動は超弾性の半円筒膜と同様な挙動を示す。

参考文献

- 1) J.W.Leonard:
Tension Structures,
Mc Graw-Hill,1987.
- 2) 水澤他:膨張膜の非線形解析について,構造工学論文集 Vol.37A
pp.15~23, 1991.
- 3) Webster,R.L.:
On the static analysis of structure with strong geometric nonlinearity. Compt.Struct.,Vol 11,
pp.137-145,1980.

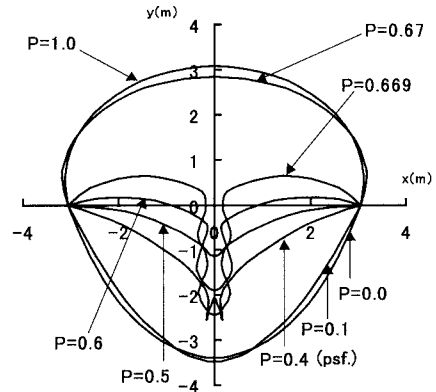


図-3 各圧力でのつり合い形状 ($x=L/2$)

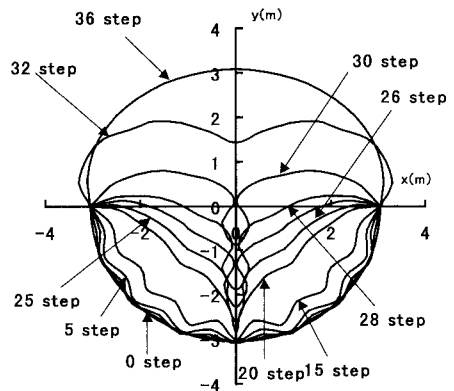


図-4 圧力を受ける半円筒膨張膜の膨張過程
 $P=1.0$ (psf.) ($x=L/2$)

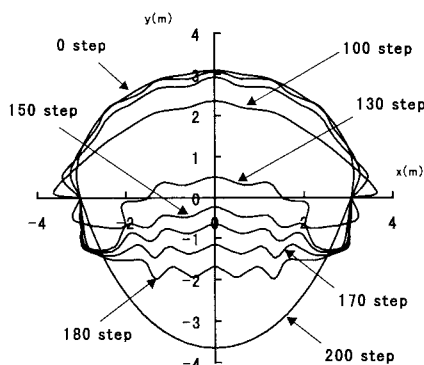


図-5 自重による半円筒膨張膜の収縮過程
 $P=0.0$ ($x=L/2$)

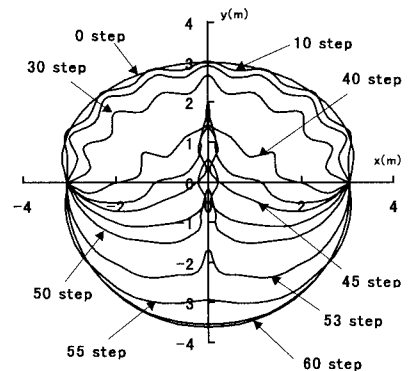


図-6 減圧力による半円筒膨張膜の収縮過程
 $P=-1.0$ (psf.) ($x=L/2$)