薄膜構造物におけるしわの解析手法と実験の紹介

Introduction of Analysis Methods and Experiment for Prediction of Wrinkles on a Thin Membrane Structure

井上祥子・日本大学

Shoko Inoue, Nihon University

屋宮拓海・日本大学

Takumi Okumiya, Nihon University

宮崎康行・日本大学

Yasuyuki Miyazaki, Nihon University

Key Words: *membrane, wrinkle, FEM, experiment*

論文要旨

本発表では、薄膜構造物に発生するしわを解析するための有限要素法について、Mod-SRM という膜要素モデルを紹介すると共に、過去に発表された SRM, MCSM という2つの膜要素計算モデル、シェル要素による解析、及び実験結果との比較を行う。

1. 膜要素のモデル化の理論

膜要素のモデル化の理論について、Stiffness Reduction Model, Maximum Compressive Stress Model, Modified Stiffness Reduction Model の3つのモデルを紹介する。また、図2に解析結果を示す。なお、紙面の都合上 SRM と MCSM の詳細については参考文献を参照されたい。

1-1 Stiffness Reduction Model (SRM)^[1]

このモデルは、従来の完全張力場を仮定したモデルとは異なり、しわが発生した場合にその方向の剛性をゼロではなく小さな正の値としている。

1-2 Maximum Compressive Stress Model (MCSM)^[2]

SRM は歪が発生すればするほど大きな圧縮応力が発生してしまうモデルであるが、この計算モデルはある一定の圧縮応力以上には膜面は耐えることができないという計算モデルである。

1-3 Modified Stiffness Reduction Model (Mod-SRM)

このモデルは SRM に伸びるエラスティカ問題を導入し、圧縮剛性率を歪の関数で表わし、膜面モデルの厚みと要素長を与えるだけで圧縮剛性率が一意に決定できるモデルである。膜のしわ形状を一本の梁の変形と考え回転自由、全長 $l/2$ の要素を用いて定式化を行う。なお、しわの1波長は l に相当する。両端点から荷重 P を受ける梁の微小線素 dx は、

$$dx = (1 + e_s) d\epsilon \quad (1)$$

と書ける。 e_s は軸歪である。微小

要素のモーメントの釣り合いは

$$EI\theta'' + \left(1 - \frac{P \cos \theta}{EA}\right) P \sin \theta = 0 \quad (2)$$

であり、次のようにパラメータ h 、 l 、および、定数 C_0 と関数 $C_\theta(t)$ を導入する。

$$h \equiv \frac{P}{EI p^2 / l^2}, \quad l \equiv \frac{EI p^2}{EA l^2} \quad (3)$$

$$C_0 \equiv \cos q_0$$

$$\cos q = \frac{1 + C_0}{2} - \frac{1 - C_0}{2} \cos t \equiv C_q(t) \quad q: q_0 \ni 0 \quad t: 0 \ni p \quad (4)$$

これにより次の式が得られる。

$$\frac{ds}{dt} = \frac{l}{p\sqrt{2h}} \frac{1}{\sqrt{(1 + C_q)\frac{1}{2} - \frac{hl}{2}(C_q + C_0)}} \equiv \frac{l}{p\sqrt{2h}} f(t) \quad (5)$$

これを $s = 0$ から $s = l/2$ まで積分すると、

$$\int_0^{l/2} f(t) dt = p\sqrt{\frac{h}{2}} \quad (6)$$

を得る。また、 ϵ は図1で定義される等価面内圧縮歪として、

$$\frac{d\epsilon}{ds} = (1 + e_s) \cos q \quad s: 0 \ni l/2 \quad x: 0 \ni (1 - e)l/2 \quad (7)$$

の関係が成り立つ。よって式(3)を導入して t で積分すると、

$$\int_0^{l/2} (1 - hl C_q) C_q f(t) dt = (1 - e) p \sqrt{\frac{h}{2}} \quad (8)$$

となる。与えられた梁の材料定数 l において、等価面内圧縮歪 e を与えた時に、式(6)と式(8)を満たす様に無次元圧縮荷重 h と角度 q_0 を決定し、 h と e との関係を求める。

図2 Mod-SRM による応力分布 (左)、シェル要素 (右)

2. 膜面形状計測実験

本研究では実際の膜面の変形や荷重を比較するために実験にてこれらを計測し、数値解析結果との比較を行っている。図3に実験装置概観を示す。

図3 実験装置外観

参考文献

- [1] Miyazaki, Y., "Wrinkle/slack model and finite element dynamics of membrane", *International Journal for Numerical Methods in Engineering*, Vol.66, No.7, May 2006, pp.1179-1209.
- [2] Arita, K. and Miyazaki, Y., "Simplified Model of Membrane for Wrinkle Analysis of Gossamer Structure", *49th AIAA/ASME/ASCE/AHS/ASC Structures, Structural Dynamics and Materials Conference*, 7-10 April 2008, Schaumburg, IL, AIAA2008-2134.

本研究の一部は科研費・基盤研究(B)・22360357の補助のもとで行われた。