

電子スペックル干渉法を用いた張力膜のリンクル計測

長崎大学大学院 学生会員 ○ 下郡 康二
長崎大学工学部 非会員 山下 務

長崎大学工学部 正会員 松田 浩
長崎大学大学院 学生会員 神原 天鳴

1 はじめに

膜材は張力を導入することにより、構造系を形成することができる。しかし、過剰な張力の導入はリンクル(しわ)発生の原因となり、膜面に生じたリンクルは、膜構造の力学特性に大きく影響与えるとともに、膜構造物の美観性にも影響する。そのため、膜構造のリンクル発生や膜構造の制御問題に関しての実験的および解析的な研究がこれまで多く行われている。

張力膜のリンクル発生に関しての実験的研究では、膜材の変形能が大きく非線形性が強いいため、従来の変位計やひずみゲージによる計測は困難である。そのため、膜面のリンクルの応力・ひずみ計測には非接触全視野計測が必要であると考え、光学系を用いた非接触全視野変位計測に注目した。現在、光学系を用いた計測には、ホログラフィ干渉法、スペックル干渉法、モアレ干渉法などがある。本研究では可視光線下で計測可能な電子スペックル干渉法(ESPI)計測法を用いて、矩形張力膜のリンクル発生過程の応力・ひずみ状態の挙動について検討した。

2 電子スペックル干渉法の概要

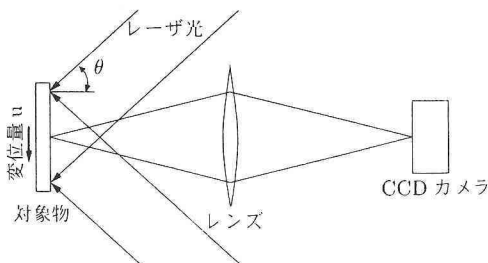


図-1 電子スペックル干渉法の光学系

本研究で利用した ESPI の原理について説明する。レーザー光を粗面に照射した場合、レーザーのコヒーレンシ(可干渉性)によって、ランダムな位相の光が重ね合い、干渉し、スペックルパターンと呼ばれる斑点模様がモニター上に観察される。ESPI は、2 つ以上の光路を通ったレーザー光を重ね合わせた時に生じるスペックルパターンを利用して変位を求める方法で、図-1 に本研究で利用した光学系を示す。

3 張力膜のリンクル計測

3.1 実験概要

本研究では、張力膜のリンクル現象による面内ひずみの推移を、前述の ESPI を用いて計測した。図-2 にその計測風景を示す。ESPI では微小変位を感知するため、振動などの外部からの影響を受けやすい。そのため、図-2 のような治具を用いて引張り試験機と ESPI 計測器を一体化し計測を行なった。

本実験で用いた膜モデルの形状を図-3 に示す。平面矩形膜 abcd の ab 端及び cd 端を固定し、ab 端の Y 方向に面内引張力を与える。cd 端は完全固定端とし、ac 端及び bd 端は自由端としている。

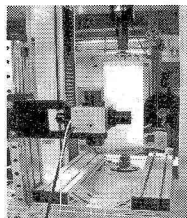


図-2 計測風景

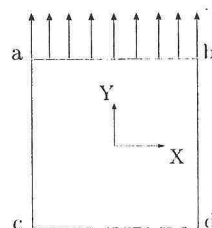


図-3 膜モデル

膜材には、膜厚 $50\mu\text{m}$ のポリエステルフィルムを使用した。ポリエステルフィルムの弾性係数は 259MPa 、ポアソン比は 0.2 である。試験片は、幅 150mm を一定としたアスペクト比の異なる A(1:2)、B(1:3)、C(1:1) の 3 種類とした。また ESPI はレーザー光と対象物の粗面を利用した計測法なので、一般的な構造物には適用可能であるが、本実験で利用したポリエステルフィルムは透明で滑らかな表面を持つため、不透明かつ表面を粗面にする必要がある。そこで、試験片の計測範囲に現像剤を塗布した。

3.2 実験結果

リンクル発生に伴う、膜材のひずみ状態の挙動を調べるため、ESPI により得られた試験片 A の中央断面における最大主ひずみ及び最小主ひずみの値の平均を図-4(a)(b) に示す。これより最大主ひずみは荷重と共にめらかに増大しているが、最小主ひずみは、荷重が増大すると一箇所において、ひずみ値が緩

和しているところがある。目視によりリンクルを確認できた荷重が約310Nであったが、これを最小主ひずみのグラフと比較すると、ひずみ緩和が発生した直後にリンクルの発生を目視で確認可能となった。

そこで最小主ひずみに注目して、試験片Aのリンクル発生過程における最小主ひずみ分布の推移を図-5に示した。また図-6には、その時の中央断面X-X'における最小主ひずみの推移を示した。図-5より荷重が増加するにつれてひずみが縞状に発生していることが分かる。図-5(c)ではリンクル発生箇所に縞状のひずみ集中が確認できる。なお、ひずみ緩和前の図-5(b)でもぼんやりであるが、リンクル発生と同一の箇所にひずみの集中が確認でき、図-6においてもそのことを確認することができる。したがって、リンクル発生前に最小主ひずみ分布を計測することにより、その発生箇所をある程度予測できると思われる。

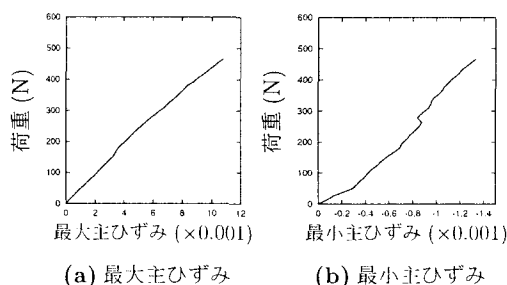


図-4 荷重-ひずみ曲線

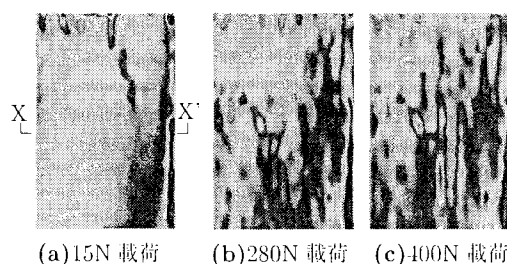


図-5 最小主ひずみ分布

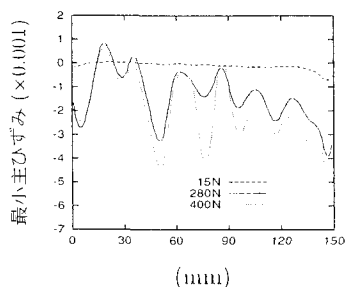


図-6 最小主ひずみの推移

試験片Aで得られた結果より、最小主ひずみとリンクル発生との関係性を明確にするため、アスペクト比が異なる試験片B、Cを用いて同様な実験を行なった。それより得られた荷重-最小主ひずみ曲線を図-7に示す。また表-2には試験片A、B、Cのリンクル発生状態と発生荷重を示す。試験片Aと同様に試験片Bでも、目視でリンクルを確認できた荷重より前に、ひずみ緩和が発生していた。また試験片Cでは、最小主ひずみのひずみ緩和は発生せず、それにより目視でもリンクルを確認することができなかった。

以上より、単軸引張り試験におけるリンクル発生は最小主ひずみのひずみ緩和により検出できるものと考えられる。

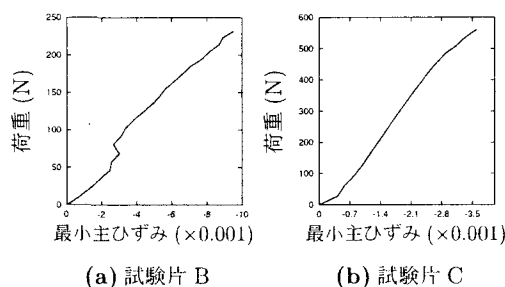


図-7 荷重-最小主ひずみ曲線

表-2 リンクル発生状態

試験片	リンクル発生荷重	リンクル発生
A	約310N	○
B	約130N	○
C		×

4 まとめ

本研究では非接触の全視野計測が可能であるESPIを用いて、張力膜のリンクル計測を行った。ESPIは、膜材のように変形能の高い材料でも計測ができ、また、リンクルの発生を最小主ひずみのひずみ緩和という現象としてとらえることができた。今後、ESPI計測と3次元形状計測などを併用して実験を行い、張力膜のリンクル解析で使用される分岐座屈理論と張力場理論の理論上の境界線を実験的に検討していく予定である。

・参考文献

- 1) 高橋賞: フォトメカニクス, pp.157-174, 1997
- 2) 辻内順平, 黒田和男: 最新光学技術ハンドブック, 2002
- 3) 豊岡了, 日本実験力学学会講演論文集, No2, 2002