## 電子スペックル干渉法を用いた張力膜におけるリンクル現象の全視野ひずみ計測

長崎大学大学院	学生会員	下郡 康二	長崎大学工学部	正会員	松田 浩
長崎大学工学部	非会員	山下 務	長崎大学大学院	学生会員	杉原 泰亮

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 ル発生の原因となり、膜面に生じたリンクルは、膜構 造物の美観,力学特性に大きく影響を与える.そのた め, 膜構造物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.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.

電子スペックル干渉法の概要  $\mathbf{2}$ 



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. レーザ光を粗面に照射した場合,レーザ光のコヒーレ 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に本研究で使用した光学系を示す。

- - 張力膜のリンクル計測 3
  - 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.

膜材には,膜厚50µm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. ESPI はレーザ光 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,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.本実験では試験片の計測範囲に 現像剤を塗布した.





図 -2 計測風景

3.2 実験結果

図-3リンクル現象

図-3に膜面に生じたリンクルを示す.リンクル発 生に伴なう,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の長手方向中央部10 × 150mmの範囲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な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特異な挙動を示すことを確認す ることができる.目視によりリンクルを確認できた荷

キーワード:電子スペックル干渉法,リンクル現象,最小主ひずみ 〒852-8521 長崎県長崎市文教町1番14号 TEL:095-819-2590 FAX:095-819-2590 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.



試験片 A で得られた結果より,最小主ひずみの緩 和とリンクル発生の関係を明確にするため,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-5 に示す.また表-1 には試験片 A, B, Cのリ ンクル発生状態とリンクル発生荷重(目視)を示す. 試験片 A と同様に試験片 B でも,目視によるリンク ル発生荷重より前に,ひずみ緩和が発生していた.ま た試験片 C では,目視ではリンクルを確認すること ができなかったが,最小主ひずみのひずみ緩和も発生 していなかった.

本研究では,単軸引張り試験における膜材のリンク ル発生は最小主ひずみのひずみ緩和点をリンクル発生 荷重と定義する.



図 -5 荷重 – 最小主ひずみ曲線

表 -1	リン	<b>クル発生状態</b> (	〔目視〕	)
------	----	-----------------	------	---

	リング	7ル発生荷重	
試験片	目視	最小主ひずみ	リンクル発生
А	約 310N	約-0.9 × 10 <sup>-3</sup>	0
В	約 130N	約-4.8 × 10 <sup>-3</sup>	0
С			×

次に試験片Aにおけるリンクル発生過程の最小主 ひずみ分布を図-6に示す.また図-7には,その時の 中央断面X-X'における最小主ひずみを示した.図-6 より荷重が増加するにつれて最小主ひずみが縞状に発 生していることが分かる.図-6(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-6(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-7 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 -6 最小主ひずみ分布



## 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