

光学的変位計測法を用いた矩形張力膜のリンクル計測

長崎大学大学院 学生会員 ○ 森下 喬
長崎大学大学院 学生会員 杉原 泰亮

長崎大学 正会員 松田 浩
長崎大学 非会員 山下 務

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)発生の原因となる。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を与えるとともに、膜構造の美観にも影響を与える。しかし、膜材は変形能が大きく非線形性が強いので、ひずみゲージによる正確なリンクルの計測は困難であった。

本研究では、非接触全視野ひずみ計測が可能な電子スเปックルパターン干渉法(以下 ESPI)、デジタル画像相関法といった光学技術を用いた計測法に着目し、矩形張力膜のリンクル発生過程におけるひずみ、形状変化についての検討を行った。

2. 計測原理

2.1 ESPI(2D 計測) の原理

レーザー光を2方向から対象物の粗面に照射すると、粗面の各点で乱反射し、互いにランダムな位相関係で重ね合う。その結果、スเปックルパターン(図1)と呼ばれるコントラストの高い可動性の斑点模様が生じる。対象物の各点が変位すると光路差が変化し、対応するスเปックルは明暗を変える。このとき、変形前後の差画像を表示すると、干渉縞(図2)が変位の等高線として現れる。この干渉縞を計測し、変位を求める計測法である。(計測レンジは1~20 μm)

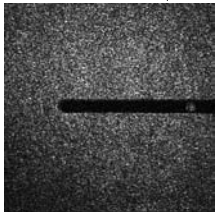


図1 スペックルパターン

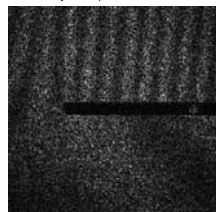
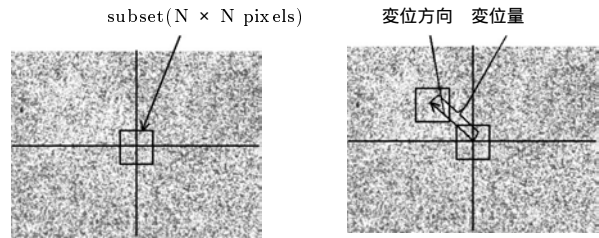


図2 干渉縞

2.2 デジタル画像相関法の原理

デジタル画像相関法とは、CCDカメラのようなデジタルカメラで測定物表面の画像を取り込み、変形前後を比較することで、画像全体にわたって変形分布を求めることができる計測手法である。変形前のデジタル画像において、任意の点(1画素)を中心とした $N \times N$ pixelsの任意領域(サブセット)を指定する(図3(a))。カメラを固定したままで測定物に変位を与えると、変形後のデジタル画像でのサブセットの位置は変化する。変形前後のサブセットのデジタル情報を比較し、変形後のサブセットの位置を探し決定する。

このサブセットの中心の移動量が計測点の変形量および変形方向である(図3(b))。また、図4のように2台のカメラを用いて計測することにより、三次元の変形量変形方向および形状を求めることができる。また、ひずみは移動画素量からひずみゲージ法を用いて算出する。(計測感度は100 μ ひずみ)



(a) 変形前

(b) 変形後

図3 変形前と変形後のデジタル画像

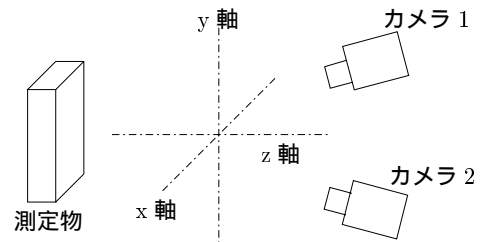
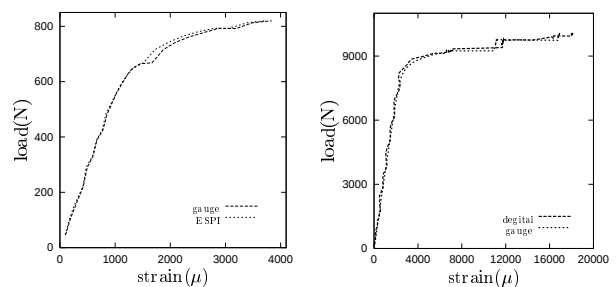


図4 3D変形計測方法

2.3 ひずみ計測適用検証試験

ESPIおよびデジタル画像相関法のひずみ測定への適用性を確認するために、アルミニウム合金の引張試験を行い、ひずみゲージとの比較を行った。図5に試験結果のグラフを示す。



(a) ESPI

(b) デジタル画像相関法

図5 光学的ひずみ計測器とひずみゲージの精度検証

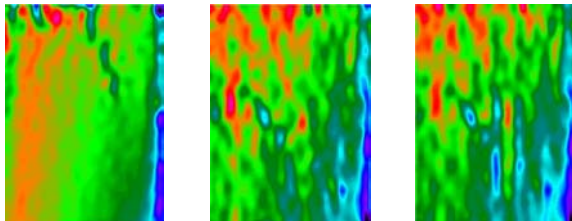
試験結果より、ESPI、デジタル画像相関法ともにひずみゲージと同等の精度での計測が可能である。

3. ESPI を用いたリンクル計測

3.1 計測概要

本計測では、膜面に発生するリンクル現象のひずみの挙動を追うために、ESPIを用いて矩形張力膜の単軸引張試験を行った。膜材は、厚さ $50\mu\text{m}$ のポリエステルフィルム (ルミラー) を用い、アスペクト比 1:2 ($150 \times 300\text{mm}$) の試験片を作製した。

3.2 計測結果



(a) しわ発生前 (b) しわ発生時 (c) 破断直前

図 6 最小主ひずみ分布

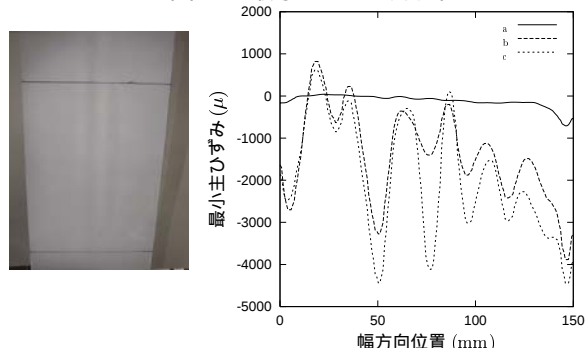


図 7 リンクル現象 図 8 中央断面における最小主ひずみの推移

図 6 は (a) しわ発生前、(b) しわ発生時、(c) 破断直前の最小主ひずみ分布である。しわ発生後、縦方向にひずみが集中することが確認できる。図 8 に試験片中央断面 ($150 \times 10\text{mm}$) のひずみ値の推移を示す。ここで、しわ発生後図 7 に示すようなリンクルの形状と相似なひずみの分布が得られた。

4. デジタル画像相関法を用いたリンクル計測

4.1 計測概要

デジタル画像相関法を用い、矩形張力膜の単軸引張試験を行う。リンクルの三次元形状と最小主ひずみを計測することにより、リンクルの形状と最小主ひずみの関連性について検討を行った。試験片には、3 節と同様にアスペクト比 1:2 ($150 \times 300\text{mm}$) のポリエステルフィルム (ルミラー) を用いる。

4.2 計測結果

図 9 の左図にデジタル画像相関法によって計測された膜材全体の、右図に中央断面の面外変位の推移を示す。図 10 の左図に全体の、右図に中央断面における最小主ひずみ分布の推移を示す。

図 9、図 10 よりリンクル形状と最小主ひずみに関係があることがわかった。

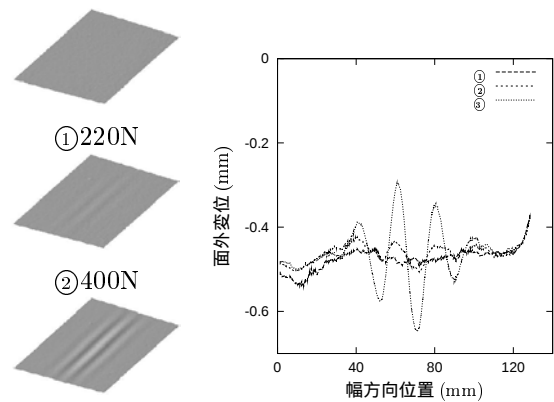


図 9 全体及び中央断面における面外方向変位

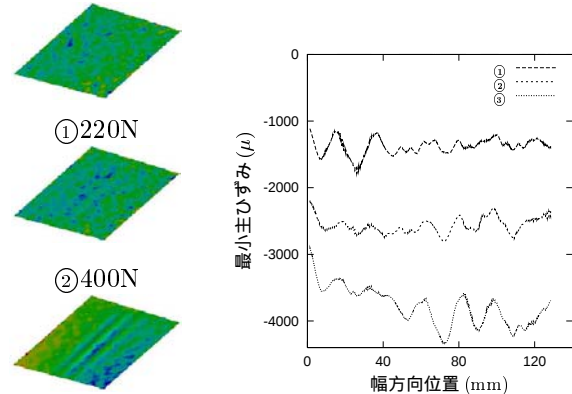


図 10 全体及び中央断面における最小主ひずみ

5. まとめ

今回の検証により、得られた知見を以下に示す。

(1) ESPI

- リンクル形状と最小主ひずみの関連性を見出せた。
- 本計測装置は 2D 計測のため、面外変形であるリンクルの最小主ひずみの値は信憑性に欠ける。
- ESPI は、計測レンジが $1 \sim 20\mu\text{m}$ のため、変形能が高い膜材の計測には不利である。

(2) デジタル画像相関法

- 膜面全体の 3D 形状を追跡できるため、リンクル発生箇所の特特定が可能であった。
- リンクル形状と最小主ひずみの間に相関関係があると考えられる。
- 計測感度が 100μ のひずみを計測できることにより、変形能が高い膜材の計測には有利である。

以上を鑑み、同じ光学的な全視野計測を用いた場合、変形能が高くリンクル現象を生じる膜材には、ESPI よりデジタル画像相関法での計測が好ましい。

今後の展望として、最小主ひずみからリンクル形状を予測できるような定量化方法の確立を目指す予定である。

参考文献

高橋賞監修：フォトメカにクス 光学的手法による応力、ひずみならびに変形の解析、山海堂、1997