

402 半円偏光器で得られるカラー光弾性縞から決定される主応力方向の精度

Accuracy of Principal Stress Directions Determined from Photoelastic Fringes Obtained

Color Using Semicircular Polariscopes

○ 飛田 進 (日本工大 (院)) Pichet Pinit (日本工大 (院))

正 梅崎栄作 (日本工大)

Susumu TOBITA, Graduate Student, Nippon Institute of Technology, 4-1 Gakuendai, Miyashiro, Saitama

Pichet PINIT, Graduate Student, Nippon Institute of Technology, 4-1 Gakuendai, Miyashiro, Saitama

Eisaku UMEZAKI, Nippon Institute of Technology, 4-1 Gakuendai, Miyashiro, Saitama

Key Word: Photoelasticity, Phase shifting, semicircular polariscopes, Principal-stress directions

1. はじめに

光弾性法は、光弾性実験によって得られる光弾性縞画像から、光弾性パラメータと呼ばれる主応力差（等色線縞次数）および主応力方向（等傾線縞角度）を割当てることによって、応力解析を行う方法である。最近では、精度良く等色線の縞次数、等傾線の縞角度の割当て手法としてカラー位相シフト法に代表されるデジタル光弾性法が用いられている。⁽¹⁾

しかしながら、光弾性縞画像の取得法の一つである平面偏光器においては、2つの偏光子および検光子と呼ばれる光学部品を回転させる必要があるため、画像取得までの時間がかかったり、刻々と応力が変化する物体に対しては適用できない問題点があり、できるだけ光学部品を回転させずに、位相シフト法に用いる複数枚の画像を同時に取得する方法が望まれている。⁽²⁾

そこで、本研究では、円偏光系と検光子からなる偏光器（半円偏光器と呼ぶ）によって、光学部品を回転しないで、得られるカラー光弾性縞から主応力方向（等傾線縞角度）を割り当てる方法を考案し、半円偏光器から取得された光弾性縞より主応力方向を精度良く決定するための方法を検討した。

2. 主応力方向の決定法

主応力方向の決定法は、位相シフト法に基づいている。ここでは、Fig.1 に示す半円偏光器において、検光子のみを回転して得られる複数枚のカラー光弾性縞から等傾線縞角度（主応力方向）を決定する方法を示す。

検光子を角度 θ_m 回転して得られる光弾性縞画像の光強度は、次のようになる。

$$I_{m,i} = \frac{a_i^2}{2} [1 + \sin 2\pi N_i \sin 2(\theta_m - \phi)] + I_{b,i} \quad (1)$$

($i = R, G, B$)

ただし、 a_i は偏光子を出た平面偏光の振幅、 N_i は等色線縞次数、 ϕ は主応力方向、 $I_{b,i}$ は背景の明るさである。

Eq.(1) において

$$I_{o,i} = \frac{a_i^2}{2} \sin 2\pi N_i \quad (2)$$

$$I_{B,i} = \frac{a_i^2}{2} + I_{b,i} \quad (3)$$

と置き、検光子の回転角度 θ_m をそれぞれ $\theta_1 = 0, \theta_2 = \pi/4, \theta_3 = \pi/2, \theta_4 = 3\pi/4$ とすると、Eq.(1) は次のように

なる。

$$I_{1,i} = I_{o,i} \sin(-2\phi) + I_{B,i} = -I_{o,i} \sin 2\phi + I_{B,i} \quad (4)$$

$$I_{2,i} = I_{o,i} \sin\left(\frac{\pi}{2} - \phi\right) + I_{B,i} = I_{o,i} \cos 2\phi + I_{B,i} \quad (5)$$

$$I_{3,i} = I_{o,i} \sin(2\pi - 2\phi) + I_{B,i} = I_{o,i} \sin 2\phi + I_{B,i} \quad (6)$$

$$I_{4,i} = I_{o,i} \sin\left(\frac{3\pi}{2} - 2\phi\right) + I_{B,i} = -I_{o,i} \cos 2\phi + I_{B,i} \quad (7)$$

Eq.(4)~(7) を組み合わせて、Eq.(1) の ϕ は次のように得られる。

$$\phi = \frac{1}{2} \arctan \left(\frac{I_{3,i} - I_{1,i}}{I_{2,i} - I_{4,i}} \right) \quad (8)$$

また、Eq.(2) 中の Eq.(4)~(7) より $I_{o,i}$ は次式から求められる。

$$I_{o,i} = \sqrt{(I_{3,i} - I_{1,i})^2 + (I_{2,i} - I_{4,i})^2} \quad (9)$$

しかしながら、Eq.(8) により得られる主応力方向は、等色線パラメータの悪影響により、半円偏光器から得られる光弾性縞の光強度値が同じかほぼ同じ部分において、精度良く得られないという問題点がある。

この問題点を解決するために、Eq.(9) によって求まる $I_{o,i}$ によって、主応力方向を補正するかどうかを決める。今回は波長 $\lambda=540\text{nm}$ で適正な円偏光が得られる 1/4 波長板を用いたので Green 縞を基準とし、 $I_{o,G}$ とその最大値である $I_{o,G\max}$ の割合の比較によって行った。 $I_{o,G}$ の値が大きければ、Eq.(8) によって得られた主応力方向をそのまま採用する。もし、値が小さければ Table 1 に従い、R,G,B それぞれの光弾性縞から得られる主応力方向 ϕ_R, ϕ_G, ϕ_B を用いて補正を行う。Table 1 中の C は、0~1 の間の値をとり、主応力方向を補正するかどうかを決める光強度の基準値 ($I_{o,G\max} \times C$) を決定するために用いる。この新たに設けた基準値によって、補正するかどうかの領域を決定する。この基準値によって、精度が大きく左右されるので検討する必要がある。

Table 1 主応力方向の補正

Condition	Correction
$I_{o,G} \geq I_{o,G\max} \times C$	$\phi' = \phi_G$
$I_{o,G} < I_{o,G\max} \times C$	
• $I_{o,R} > I_{o,B}$	$\phi' = \phi_R$
• $I_{o,B} > I_{o,R}$	$\phi' = \phi_B$

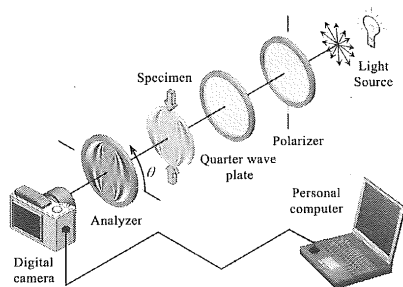


Fig.1 Experimental setup

3. 適用例

本法による主応力方向の決定精度を調べるために、集中圧縮荷重 ($P=235.4\text{N}$) を受けるエポキシ樹脂製の円板 (直径 $D=50\text{mm}$ 、厚さ $t=6\text{mm}$) に適用した。Fig.2 に Fig.1 に示す半円偏光器において得られたカラー光弾性縞を示す。Fig.3 は Fig.2 のカラー光弾性縞から Eq.(8) によって得られた補正前の主応力方向と理論による主応力方向を示す。Fig.4 にそれぞれの C 値によって得られた補正領域 ($I_{0,G\max} \times C$ 未満の値を持つ領域で、黒色で示されている) を示す。Fig.5 は Fig.4 の補正領域および Table1 によって補正した主応力方向を示す。Fig.6 に、 C 値による誤差分布図を示す。Fig.7 に理論値と $C=0.75$ で補正した主応力方向の分布図を示す。

Fig.3 の補正前の主応力方向と Fig.5 の補正後の主応力方向を比較すると、問題であった位相ジャンプが解消され、 C 値が大きくなるほど誤差が小さくなる傾向となった。また、試験片の縁は補正前と補正後でほとんど改善が見られなかった。これは、加工時に生じた応力や残留応力が原因だと考えられる。

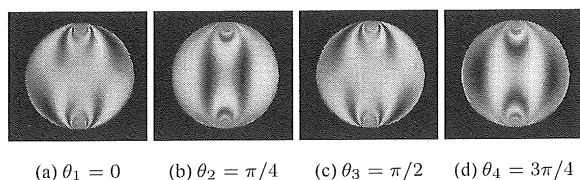

(a) $\theta_1 = 0$ (b) $\theta_2 = \pi/4$ (c) $\theta_3 = \pi/2$ (d) $\theta_4 = 3\pi/4$

Fig.2 Experimental color photoelastic fringe images of the circular disk.

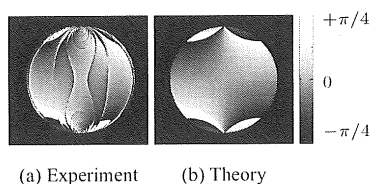


Fig.3 Principal-stress direction map.

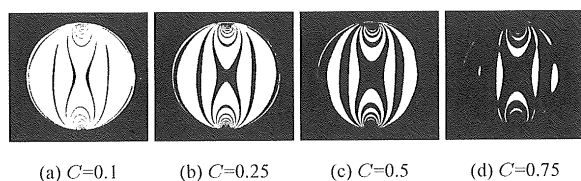


Fig.4 Areas to be corrected which are shown with black color.

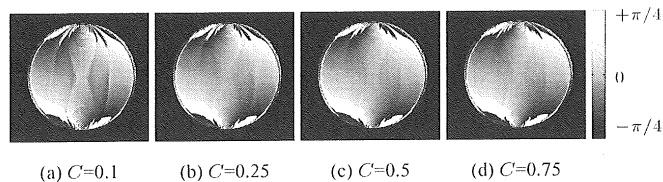
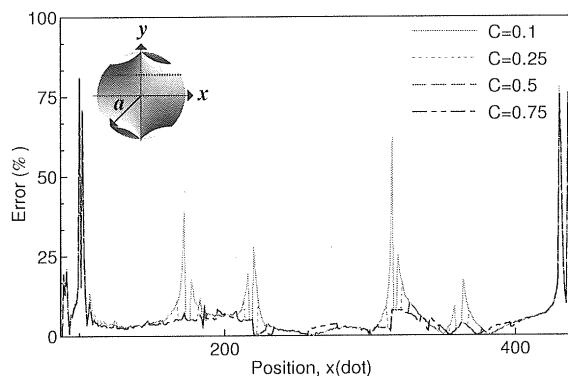
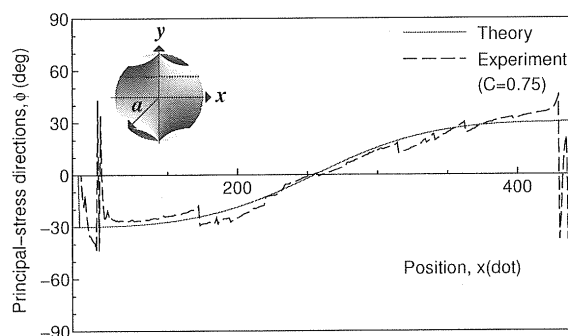


Fig.5 Corrected principal-stress direction map.


Fig.6 Variation in error with C value along horizontal line of $y/a = 0.5$ of a circular disk with radius a .

Fig.7 Distributions of principal-stress directions along horizontal line of $y/a = 0.5$ of a circular disk with radius a .

4. おわりに

主応力方向を高速に決定できる可能性がある半円偏光器により得られたカラー光弾性縞に、位相シフト法を適用して決定された主応力方向の精度に影響する要因に検討した。その結果、まず基準となる Green 縞の主応力方向をもとにして、Red 縞と Blue 縞の主応力方向を併用することで約 10 % 程度の誤差に抑えることが出来た。また、補正判定における基準値の設け方によって、主応力方向の精度が大きく変化したので最適な基準値を自動的に得ることが今後の課題である。

参考文献

- [1] 梅崎栄作、光弾性実験の自動化の現状、実験力学、2-1 (2002)、9-14.
- [2] 飛田進、P.Pinit、梅崎栄作、第 37 回応力ひずみ測定および強度評価シンポジウム講演論文集、(2006)、7-11.