

(19)日本国特許庁 (J P)

(12) 特 許 公 報 (B 2)

(11)特許番号

特許第3362182号
(P3362182)

(45)発行日 平成15年1月7日(2003.1.7)

(24)登録日 平成14年10月25日(2002.10.25)

(51)Int.Cl.⁷

G 0 1 L 1/00

識別記号

F I

G 0 1 L 1/00

G

B

請求項の数5(全 6 頁)

(21)出願番号 特願2000-204573(P2000-204573)

(22)出願日 平成12年7月6日(2000.7.6)

(65)公開番号 特開2002-22559(P2002-22559A)

(43)公開日 平成14年1月23日(2002.1.23)

審査請求日 平成12年7月6日(2000.7.6)

特許法第30条第1項適用申請有り 松井 亮 他3名,
位相シフト法を用いた等色線・等傾線の自動解析, 日本
光弾性学会第22回研究発表講演会講演論文集, No22
(2000), 日本, 日本光弾性学会, 2000年 6月20日,
第23頁から第26頁

特許法第30条第1項適用申請有り 松井 亮 他4名,
位相シフト法を用いた光弾性による実時間応力解析, 関
西学生会卒業研究発表講演会講演前刷集, 日本, 日本機
会学会関西学生会, 2000年 3月15日, 2-15

(73)特許権者 396019376

和歌山大学長

和歌山県和歌山市栄谷930

(72)発明者 森本 吉春

大阪府泉南郡田尻町りんくうポート北5
-17

(72)発明者 野村 孝徳

大阪府泉南郡田尻町りんくうポート北5
-17

(72)発明者 藤垣 元治

和歌山県和歌山市木ノ本694-1 シテ
ィキノモト205

(74)代理人 100059258

弁理士 杉村 暁秀 (外2名)

審査官 白石 光男

最終頁に続く

(54)【発明の名称】 応力分布計測方法

(57)【特許請求の範囲】

【請求項1】 所定の光源と、1/4波長板と、検光子
とを具える光学系を用いて試料に対する光弾性縞を得、
この光弾性縞の光強度分布から前記試料の応力分布を計
測する方法であって、
前記検光子を一定方向に角度 毎に連続的に回転させると
ともに、前記1/4波長板を前記検光子の回転方向と
同一方向に、前記角度 の整数倍の角度 で前記検光子
の回転と同期するようにして連続的に回転させ、前記試
料における応力分布を実時間で解析するようにしたこと
を特徴とする、応力分布計測方法。

【請求項2】 前記検光子の前記角度 毎の回転、及び
前記1/4波長板の前記角度 毎の回転を、CCDカメ
ラのフレームレイトと同期させて行うことを特徴とす
る、請求項1に記載の応力分布計測方法。

【請求項3】 前記角度 は前記角度 の2倍であるこ
とを特徴とする、請求項1又は2に記載の応力分布計測
方法。

【請求項4】 前記角度 が / 8であることを特徴と
する、請求項3に記載の応力分布計測方法。

【請求項5】 前記光学系は複数の1/4波長板を具
え、この内の一つを前記検光子の回転方向と同一方向
に、前記角度 毎に連続して回転させることを特徴とす
る、請求項1~4のいずれかーに記載の応力分布計測方
法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、応力分布計測方法
に関し、さらに詳しくは、工場のオンラインシステムな
どにおいて好適に使用することのできる応力分布計測方

法に関する。

【0002】

【従来の技術】光弾性縞の光強度分布から試料の応力分布を計測する方法として、測定に使用する光学系の検光子を連続的に回転させて行うSarmaの方法がある。しかしながら、この方法では、光源の明るさの変動に対応できないという問題、及び演算不可能な場合が生じるという問題がある。このため、この方法により試料の応力分布の全面解析を実行することは不可能であった。

【0003】また、上記応力分布の測定方法として、測定に使用する光学系の1/4波長板及び検光子を回転させるPattersonとWangの方法がある。この方法によれば、Sarmaの方法と異なり、試料の応力分布の全面解析を実行することが可能である。しかしながら、1/4波長板及び検光子の回転角度が等間隔でないため、測定によって得られた各光弾性縞をCCDカメラのフレームレートと同期させることができないという問題がある。このため、この方法によっては、試料の応力分布を実時間で解析することができなかった。

【0004】

【発明が解決しようとする課題】本発明は、光弾性縞の光強度分布から試料の応力分布を計測する方法であって、前記応力分布を実時間で解析することが可能な応力分布計測方法を提供することを目的とする。

【0005】

【課題を解決するための手段】上記目的を達成すべく、本発明の応力分布計測方法は、所定の光源と、1/4波長板と、検光子とを具える光学系を用いて試料に対する光弾性縞を得、この光弾性縞の光強度分布から前記試料の応力分布を計測する方法であって、前記検光子を一定方向に角度 α 毎に連続的に回転させるとともに、前記1/4波長板を前記検光子の回転方向と同一方向に、前記角度 α の整数倍の角度 $n\alpha$ で前記検光子の回転と同期するようにして連続的に回転させ、前記試料における応力分布を実時間で解析するようにしたことを特徴とする。

【0006】本発明によれば、1/4波長板及び検光子を一定の角度 α 及び $n\alpha$ 毎に同一方向で同期するように回

$$\begin{Bmatrix} E_x \\ E_y \end{Bmatrix} = \frac{1}{2} \begin{bmatrix} \cos^2 \alpha & \sin \alpha \cos \alpha \\ \sin \alpha \cos \alpha & \sin^2 \alpha \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 - i \cos 2\alpha & -i \sin 4\alpha \\ -i \sin 4\alpha & 1 + i \cos 2\alpha \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \cos \frac{\delta}{2} - i \sin \frac{\delta}{2} \cos 2\theta & -i \sin \frac{\delta}{2} \sin 2\theta \\ -i \sin \frac{\delta}{2} \sin 2\theta & \cos \frac{\delta}{2} + i \sin \frac{\delta}{2} \cos 2\theta \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & i \\ i & 1 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} 0 \\ 1 \end{Bmatrix} k e^{i\omega t}$$

【0012】は試料10の主応力 σ_1 及び σ_2 の差と、試料10の厚さ t とによって決定される位相差であり、 $\delta = 2\pi t C / \lambda (1 - \nu)$ で表される。なお、 C は光弾性係数であり、 λ は光源1から出射された光の波長である。 θ は光源1から出射された光の角振動

転させているため、これらの回転を、例えば、本発明の好ましい態様であるCCDカメラのフレームレートと同期させることが可能となる。したがって、試料の応力分布を実時間で解析することができる。

【0007】そして、1/4波長板の回転角度を検光子の回転角度の整数倍、特に、本発明の好ましい態様である2倍に設定することにより、パラメータ数が減少するとともに各パラメータの係数関係が簡略化され、応力分布を実時間で解析する際の演算処理が容易となる。したがって、試料の応力分布の解析を短時間で行うことができる。

【0008】

【発明の実施の形態】以下、本発明を発明の実施の形態に則して詳細に説明する。以下においては、本発明の特徴を簡明に示すべく、本発明の好ましい態様である、1/4波長板の回転角度 α を検光子の回転角度 $n\alpha$ の2倍に設定した場合について説明する。図1は、本発明の応力分布計測方法において使用する光学系の概略図である。図1に示す光学系は、光源1と、偏光子2と、1/4波長板3、4と、検光子5とを具えている。そして、1/4波長板3及び4の間に応力分布を測定すべき試料10が設置されている。

【0009】試料10は、X軸から角度 θ の方向に主応力 σ_1 を有し、この主応力 σ_1 と垂直な方向に主応力 σ_2 を有しているとする。また、光源1から出射された光はY方向に偏光しており、この光の偏光度合いを向上させるべく、偏光子2は、X軸と垂直なY方向に主軸を有しているとする。1/4波長板3はX軸と3/4の角度をなし、1/4波長板4及び検光子5はX軸を規準としてそれぞれ角度 2α 及び $n\alpha$ で回転するとする。

【0010】この場合において、図1に示す光学系の検光子5から出射された光の複素振幅のX成分 E_x 及びY成分 E_y は、ジョーンズマトリクスを用いて、下記(1)式で表すことができる。

【0011】

【数1】

数であり、 k は光源1から出射された光の振幅によって決定される定数であり、 i は虚数単位である。したがって、光の強度 I は、下記(2)式で表すことができる。

【0013】

【数2】

$$I = \sqrt{E_x^2 + E_y^2}$$

$$= I_b + a^2 \{ \sin 2\alpha \cos \delta - \sin 2(\theta - 2\alpha) \cos 2\alpha \sin \delta \}$$

【0014】 a は光の振幅であり、 I_b は自然光の明るさ（偏光光）である。なお、(1)及び(2)式から明らかなように、 $1/4$ 波長板の回転角度を検光子の回転角度の2倍に設定したことによって、これら式の中にパラメータが出現しないこと、及び三角関数における係数が2を規準として簡略化されていることが分かる。

【0015】図1に示す光学系において、検光子5の回転角度を $\theta/8$ に設定した場合、すなわち、検光子5

$$I_1 = I_b - a^2 \sin 2\theta \sin \delta$$

$$I_2 = I_b - a^2 \frac{1}{\sqrt{2}} (\cos \delta - \cos 2\theta \sin \delta)$$

$$I_3 = I_b - a^2 \cos \delta$$

$$I_4 = I_b - a^2 \frac{1}{\sqrt{2}} (\cos \delta - \cos 2\theta \sin \delta)$$

$$I_5 = I_b + a^2 \sin 2\theta \sin \delta$$

$$I_6 = I_b + a^2 \frac{1}{\sqrt{2}} (\cos \delta - \cos 2\theta \sin \delta)$$

$$I_7 = I_b + a^2 \cos \delta$$

$$I_8 = I_b + a^2 (\cos \delta - \cos 2\theta \sin \delta)$$

【0017】そして、(3)式を θ 及び δ について演算し、その解を求めると、下記(4)式が得られる。

【0018】

【数4】

$$\theta = \frac{1}{2} \tan^{-1} \frac{I_5 - I_1}{I_7 - I_3 - \sqrt{2}(I_6 - I_2)}$$

$$\delta = \tan^{-1} \frac{I_5 - I_1}{(I_7 - I_3) \sin 2\theta}$$

$$= \tan^{-1} \frac{I_7 - I_3 - \sqrt{2}(I_6 - I_2)}{(I_7 - I_3) \cos 2\theta}$$

【0019】したがって、 θ が0から $\pi/8$ 毎に変化した際の光強度 $I_1 \sim I_8$ を実測し、その値を(4)式に代入することによって、試料10における主応力 σ_1 の方向及びこれに付随して主応力 σ_2 の方向を算出することができる。さらに、 θ の値が求まるため、試料10の厚さ t と光弾性係数 C 、並びに光源1から出射された光の波長 λ を用いて、主応力 σ_1 と σ_2 との差を求めることができる。したがって、試料10の面内における各

点を $\pi/8$ 毎に回転し、 $1/4$ 波長板4を $2\pi/8$ 毎に回転する場合を考える。この時、(2)式で表される光学系10から出射される光の強度 I は、 $1/4$ 波長板4が一回転する間に、 $\theta = 0, \pi/8, 2\pi/8, 3\pi/8, 4\pi/8, 5\pi/8, 6\pi/8$ 、及び $7\pi/8$ の値を取るため、光強度 I は、それぞれ下記(3)式で表されるような値を取る。

【0016】

【数3】

点の光強度 $I_1 \sim I_8$ を実測することによって、試料10の面内における応力分布を求めることができる。

【0020】そして、上記 $\pi/8$ 毎の回転を、例えばCCDカメラのフレームレイトと同期させて1回転(1周期)以上連続して行くと、試料10の面内の各点において、合計 n 個の光強度 $I_1 \sim I_n$ ($n=8$)を得ることができる。このため、1回転(1周期)分の光強度 $I_1 \sim I_8, I_2 \sim I_9, I_3 \sim I_{10}$ などを順に選択することによって、上記(4)式から、その都度主応力 σ_1 及び σ_2 の方向、及びこれら主応力の差を求めることができる。すなわち、上記選択によって試料10の面内の各点における、これら主応力の方向などを実時間で解析することができる。したがって、上記操作を試料10の面内の各点について行うことにより、試料10における応力分布を実時間で解析することが可能となる。

【0021】

【実施例】本発明の応力分布計測方法の実施可能性を具体例に基づいて示す。応力分布の計測は、上述したような検光子の $\pi/8$ 毎の回転及び $1/4$ 波長板の $2\pi/8$ 毎の回転により実施した。また、図1に示すような光学系を用いるとともに、試料10には、光弾性係数 C が

1.659mm²/kN、厚さtが5.67mm、半径Rが22.35mmであるエポキシ樹脂を用いた。また、光源1からの出射光の波長を514.5nmとし、試料10の半径方向に18.7Nの応力を印加した。

【0022】図2は、上記のような回転と同期させたCCDカメラにより得た光弾性画像を示す図である。そして、これらの画像を下に、上記(4)式から本発明の方法にしたがって応力分布の計測を実施した。主応力方向の実測分布を図3に、主応力差の実測分布を図4に示す。

【0023】一方、主応力方向の理論分布を図5に、主応力の理論分布を図6に示す。図3及び5、並びに図4及び6の結果から、本発明の方法によって計測した主応力方向の分布と主応力差の分布は、理論的な分布と極めて良く一致することが分かる。したがって、本発明の応力分布計測方法は極めて高い信頼性を有することが分かる。

【0024】以上、本発明を具体例を示しながら発明の実施の形態に則して説明したが、本発明は上記内容に限定されるものではなく、本発明の範疇を逸脱しない限りにおいてあらゆる変形や変更が可能である。

【0025】例えば、上記においては、検光子の回転角度を α とし、1/4波長板の回転角度を角度の2倍である 2α とした。しかしながら、本発明の好ましい態様において、これらの回転角度が2倍の関係を満足するものであれば、これらの回転角度は α 及び 2α に限定されるものではない。

【0026】さらに、1/4波長板の回転角度が検光子の回転角度の整数倍であれば、必ずしも上記2倍に

限定されるものではなく、3倍以上であってもよい。また、図1においては、2つの1/4波長板を用いているが、目的に応じて3以上の1/4波長板を用いた場合においても、この内の一つを上記のようにして回転させることにより本発明の要件を満足し、本発明の効果を奏することができる。さらには、単独の1/4波長板を用い、これを上記のように回転させても本発明の要件を満足する。

【0027】

【発明の効果】以上説明したように、本発明によれば、試料における応力分布を実時間で解析することが可能な応力分布計測方法を提供することができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】 本発明の応力分布計測方法において使用する光学系の一例を示す概略図である。

【図2】 本発明の応力分布計測方法によって実測した光弾性画像を示す図である。

【図3】 本発明の応力分布計測方法によって計測した主応力方向の分布を示す図である。

【図4】 本発明の応力分布計測方法によって計測した主応力差の分布を示す図である。

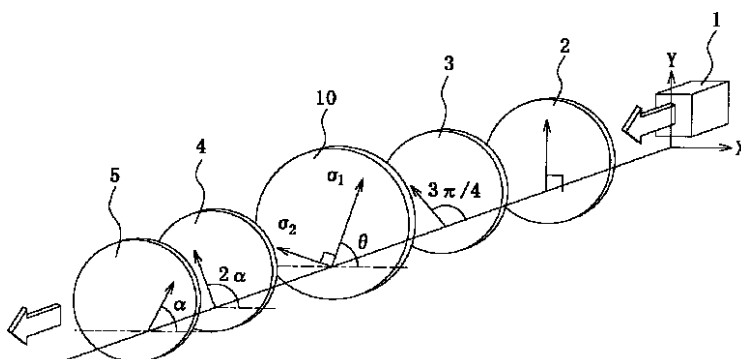
【図5】 主応力方向の理論分布を示す図である。

【図6】 主応力差の理論分布を示す図である。

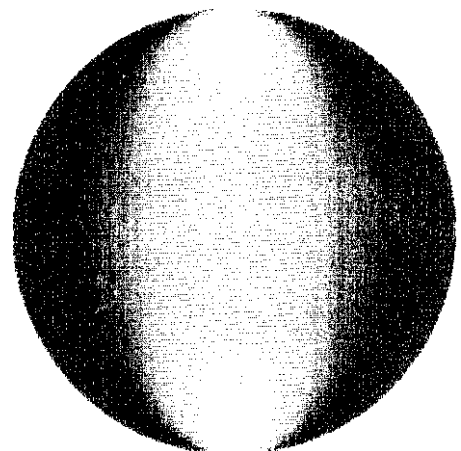
【符号の説明】

- 1 光源
- 2 偏光子
- 3、4 1/4波長板
- 5 検光子
- 10 試料

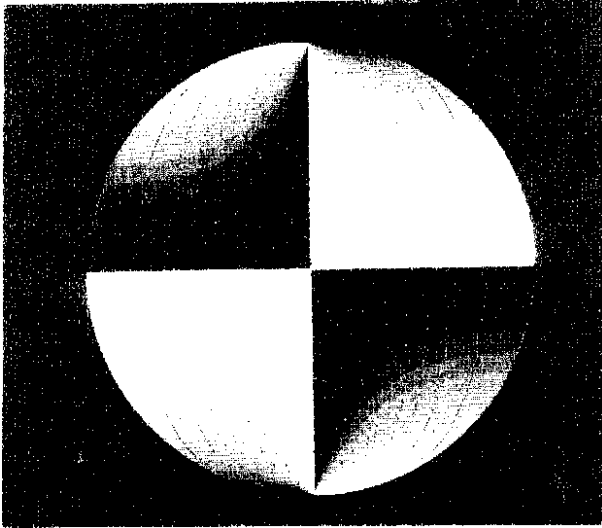
【図1】



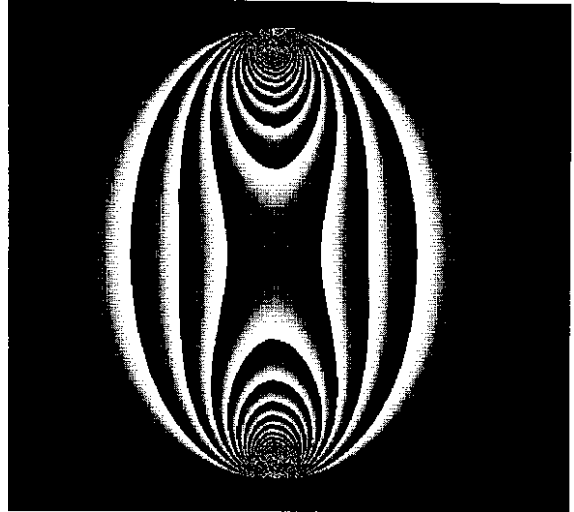
【図6】



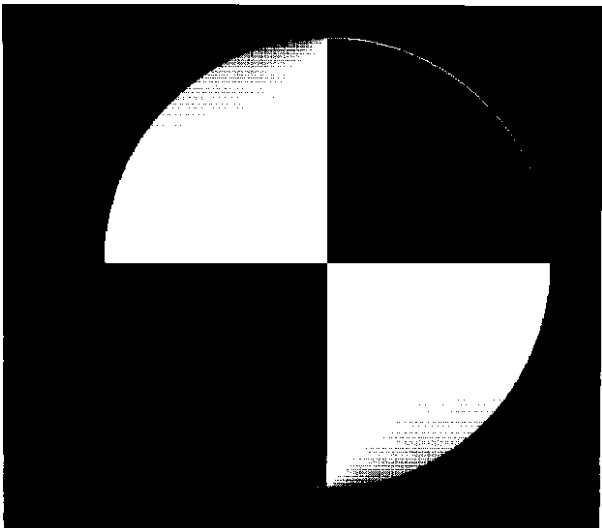
【図3】



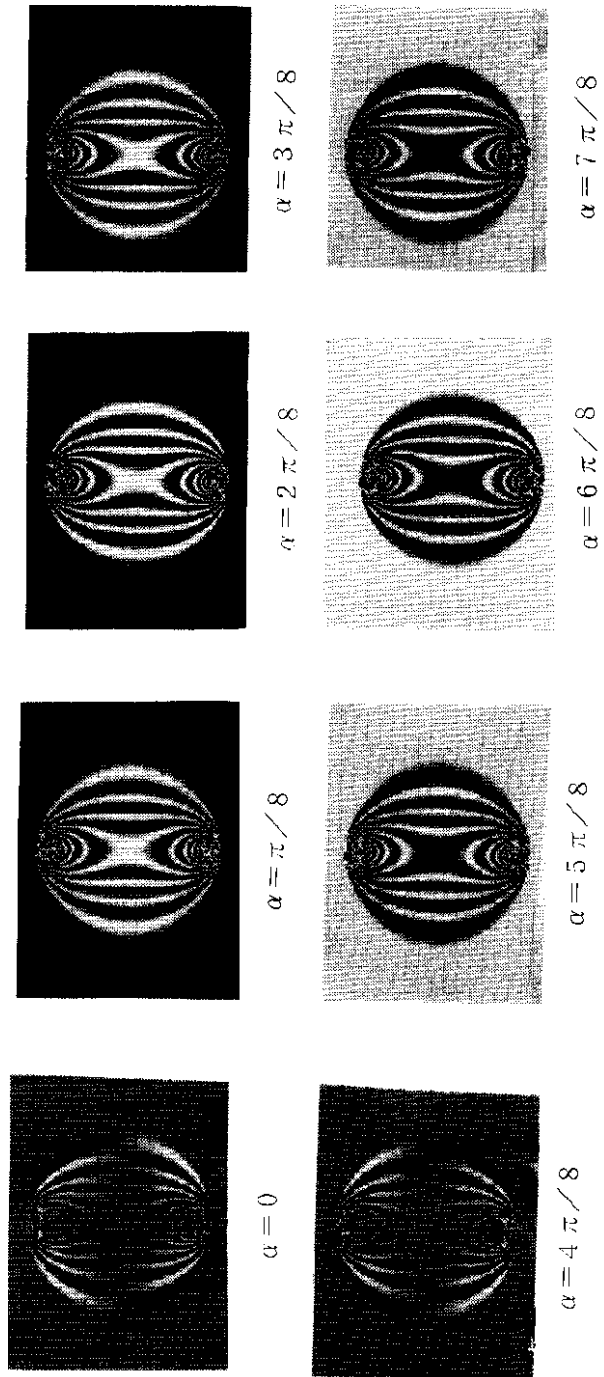
【図4】



【図5】



【図2】



フロントページの続き

早期審査対象出願

(72)発明者 松井 亮

和歌山県和歌山市栄谷659 - 1 フォーブル安井 I I 212

(56)参考文献 特開 昭61 - 41933 (J P , A)

特開 昭62 - 132136 (J P , A)

(58)調査した分野(Int.Cl.7, D B名)

G01L 1/00