

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号
特開2002-22559
(P2002-22559A)

(43) 公開日 平成14年1月23日 (2002.1.23)

(51) Int.Cl.⁷

識別記号

F I

テマコード* (参考)

G 0 1 L 1/00

G 0 1 L 1/00

G

B

審査請求 有 請求項の数 5 O L (全 6 頁)

(21) 出願番号 特願2000-204573(P2000-204573)

(71) 出願人 396019376

(22) 出願日 平成12年7月6日(2000.7.6)

和歌山大学長
和歌山県和歌山市栄谷930

特許法第30条第1項適用申請有り 2000年3月15日 日本機械学会関西学生会開催の「関西学生会卒業研究発表講演会」において文書をもって発表

(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

(74) 代理人 100059258

弁理士 杉村 暁秀 (外2名)

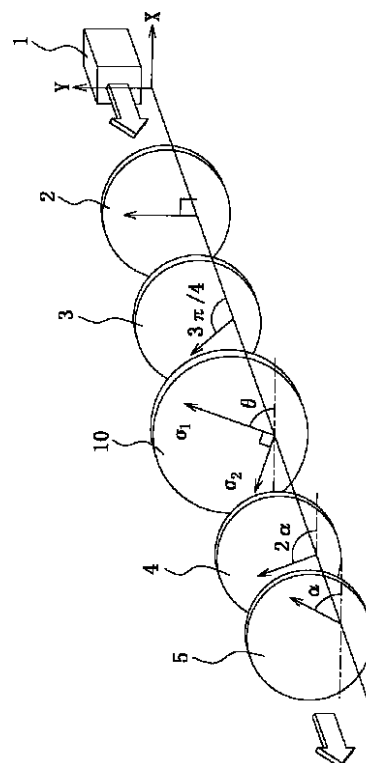
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 応力分布計測方法

(57) 【要約】

【課題】 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。

【解決手段】 検光子5を一定方向に角度 毎に連続して回転させる。さらに、1/4波長板4を検光子5と同じ方向に角度 2 毎に連続して回転させる。そして、これらの回転を、例えばCCDカメラのフレームレイトと同期するように実施することによって、試料10の面内における主応力方向 及び主応力差を実時間で解析することができる。



【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 θ 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 θ の整数倍の角度 $n\theta$ 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、請求項 1 に記載の応力分布計測方法。

【請求項 2】 前記検光子の前記角度 θ 毎の回転、及び前記 $1/4$ 波長板の前記角度 θ 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 θ は前記角度 θ_0 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 θ が $\theta_0/8$ 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 θ 毎に連続して回転させることを特徴とする、請求項 1 ~ 4 のいずれか一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イ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 θ 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 θ の整数倍の角度 $n\theta$ 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 θ 及び $n\theta$ 毎に同一方向で同期するように回転させているため、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イ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 θ を検光子の回転角度 θ_0 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 α 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 $3\pi/4$ 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 2θ 及び 4θ 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。

【数1】

【0011】

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

【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、 $\delta = 2 \pi t C / \lambda (\sigma_1 - \sigma_2)$ 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

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(バイアス光)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 θ を検光子の回転角度 θ の2倍に設定したことによって、これら式の中に θ の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。

を $\theta/8$ 毎に回転し、 $1/4$ 波長板4を $2\theta/8$ 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、 $\theta = 0, \theta/8, 2\theta/8, 3\theta/8, 4\theta/8, 5\theta/8, 6\theta/8$ 、及び $7\theta/8$ 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。

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

【0016】

【数3】

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

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

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

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

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

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

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

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

【0017】そして、(3)式を I_1 及び I_5 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1の方向及びこれに付随して主応力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1と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1及び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 $1.659 \text{ mm}^2/\text{kN}$ 、厚さ t が 5.67 mm 、半径 R が 22.35 mm 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 514.5 nm とし、試料10の半径方向に 18.7 N 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 $\pi/8$ とし、 $1/4$ 波長板の回転角度を角度の2倍である $2\pi/8$ 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 $\pi/8$ 及び $2\pi/8$ 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。

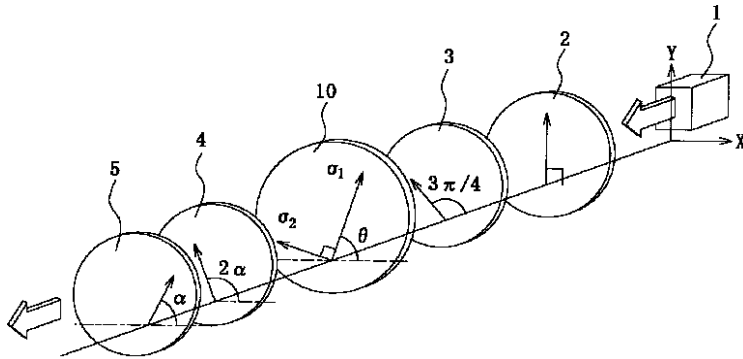
【図5】主応力方向の理論分布を示す図である。

【図6】主応力差の理論分布を示す図である。

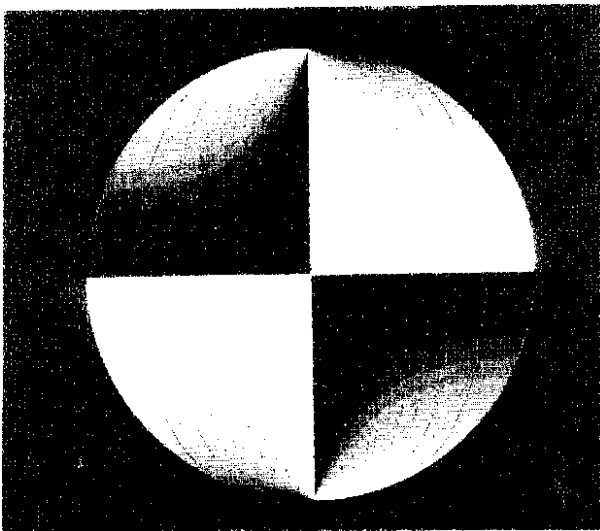
【符号の説明】

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

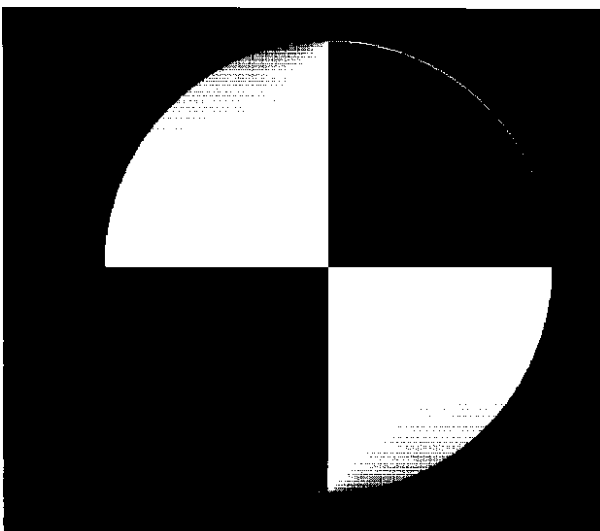
【図1】



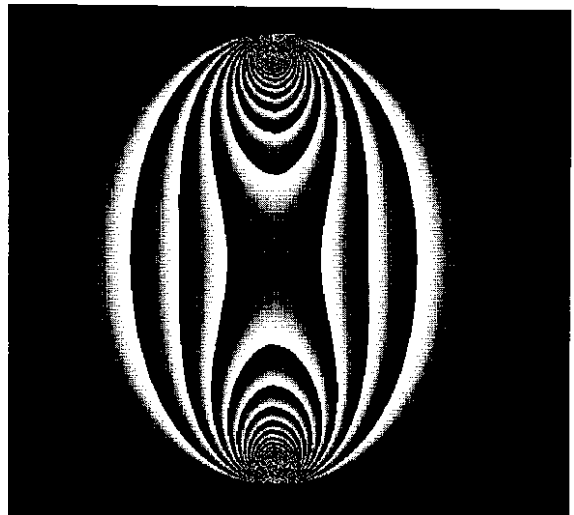
【図3】



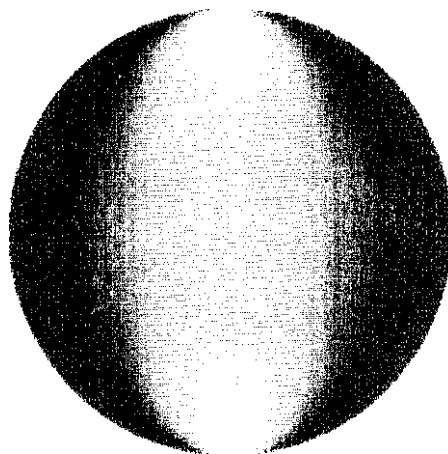
【図5】



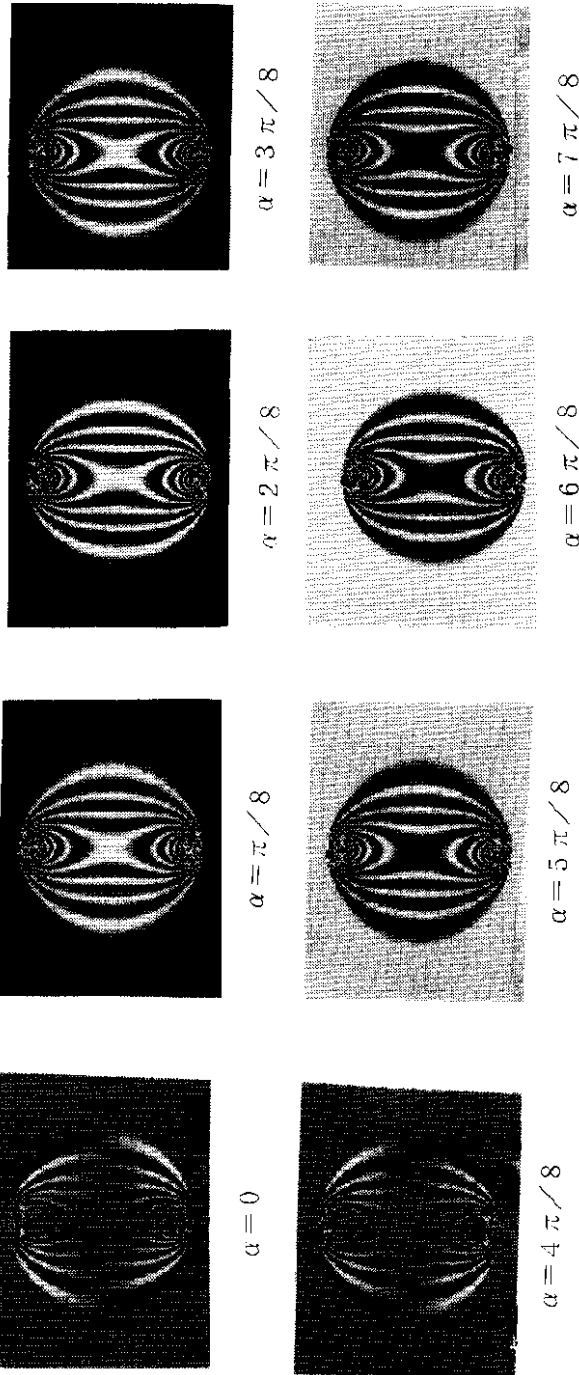
【図4】



【図6】



【図2】



フロントページの続き

(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

(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 2212