

二色のレーザとカラーカメラを用いた二次元変形測定法

金沢大学 ○泉澤俊裕 安達正明

Deformation Measurement of two directions by using two lasers and a color camera

Kanazawa University Toshihiro SENZAWA and Masaaki ADACHI

We have developed a continuous deformation measurement method. But this method was applied to deformation measurement of only one direction. We propose a method which can measure deformations of two directions.

1. 緒言

現在、金属の変形測定はひずみゲージを用いた変形測定法が一般的である。これは構造が単純、安価などのメリットがある一方、接触式測定のため、試料の前処理が必要で測定時の準備に時間を要する、一点測定などのデメリットもある。

そこで我々は DSPI (Digital Speckle Pattern Interferometry) を用いた測定法について研究を行っている。この方法は、非接触であり、サブミクロンオーダーで変形の二次元分布を測定する事が可能である。

しかし、この方法では一方向の変位ごとにレーザとカメラが一台ずつ必要となる。二方向の変形を測定するにはそれぞれが二台ずつあれば測定は可能であるが、装置が大きく複雑になってしまう。そこで本研究では異なる二色のレーザと一台のカラーカメラを用いて二方向の面内変形を測定する方法について検討した。

2. 測定原理

2.1 スペックルパターン干渉法 (DSPI)

スペックル干渉法と干渉画像のコンピュータ処理を組み合わせる DSPI は粗面のサブミクロンの変形でもそれを位相変化量として高精度に測定できるため、変形測定に広く用いられている。この DSPI で位相変化量を求めるためによく使われているのは位相シフト法であるが、我々は変形の時間変化や表面の移動量を測定するために、物体の干渉像を連続的にコンピュータに取り込み、取り込んだ画像の光強度変化を用いる方法を研究してきた^{1),2)}。この方法は、カメラの各画素で個々に与えられる干渉光強度の最大値と最小値と、変形測定が必要な時点の光強度より、逆余弦計算で位相値の候補となる情報をまず求め、局所域内 (5×5 画素) では位相変化量がほぼ一定になることを利用して位相抽出を行う。今回の実験ではこの方法を用いて二次元の面内変形測定を行った。

2.2 連続取り込みによる変形量計測

変形により変化し続けているスペックル干渉光強度をカメラで連続取り込みした場合、ある画素の光強度変化は図 1 のようになる。まず、図 1 にある $t=t_0$ での位相を初期位相 ϕ_{t_0} とし、その位相を求める。図 1 の光強度変化から、その画素での最大値 I_{max} と最小値 I_{min} を求める。そして $t=t_i$ ($i=0, 1, 2, \dots$) での干渉光強度 I_{t_i} を用いて $\phi_{t_i} = \cos^{-1} \{ [I_{t_i} - (I_{max} + I_{min})/2] / \{ (I_{max} - I_{min})/2 \} \}$ を計算すると、各 t での位相の絶対値 $|\phi_{t_i}|$ がわかる。そこで初期位相 ϕ_{t_0} は $\pm\phi_{t_0}$ と、 t_i での位相 ϕ_{t_i} は $\pm\phi_{t_i}$ とそれぞれ候補として取り上げ、時間 t_0 と t_i での位相変化量 $\Delta\phi = (\pm\phi_{t_i}) - (\pm\phi_{t_0})$ を計算する。同様の計算を測定点の局所域内 (5×5) で行い、結果を複素平面にプロットすると図 2 の様になる。位相変形は域内ではほぼ同じである為、正しい位相差は集合し、正しくない位相差はスペックルのランダム性

により平面処理でその影響はゼロに近づき正しい位相差の絶対値 $|\Delta\phi|$ がわかる。一定方向の変形である場合、その方向による位相差を正とし位相差 $\Delta\phi$ がわかる。今、 $\cos\phi_{t_0}$ と $\cos(\phi_{t_0} + \Delta\phi)$ は分かっているので次に以下の計算をし、初期位相 ϕ_{t_0} が求まる。

$$\sin\phi_{t_0} = \frac{\cos\phi_{t_0}\cos\Delta\phi - \cos(\phi_{t_0} + \Delta\phi)}{\sin\Delta\phi} \dots\dots(1)$$

$$\phi_{t_0} = \arg(\cos\phi_{t_0} + i\sin\phi_{t_0}) \dots\dots(2)$$

これ以降の計算ではこの初期位相 ϕ_{t_0} を用いて、同じ様な計算を行う。 $\phi_{t_i} = \cos^{-1} \{ [I_{t_i} - (I_{max} + I_{min})/2] / \{ (I_{max} - I_{min})/2 \} \}$

($i>0$) を計算、時間 t_i と t_0 の位相差 $\Delta\phi = \pm\phi_{t_i} - \phi_{t_0}$ を求める。これを測定対象画素を中心とする局所域内で計算し、複素平面にプロットすると図 3 のようになる。先ほどと同じように正しい位相変化量は集合し、それ以外は平面処理により影響がなくなるため、正しい位相変化量 $\Delta\phi$ を求めることが出来る。

この $\Delta\phi$ の算出と加算を繰り返す事で変形による位相の時間変化量を求める事が出来そうだが、実際は時間が経ち変形が大きくなるとスペックルの位相分布が変化し、計算値と真の位相には少しずつ違いが累積していく。このため上記の計算を繰り返すだけでは限界があり、途中で位相抽出が不可能になってしまう。そこで干渉光強度の時間変化を用いてある時間 t での位相 ϕ_t を求める。この ϕ_t はスペックルの位相分布に変化が発生しても正しい値であり、求めた位相を次の位相抽出での初期位相とすることで変形が大きく進んだ場合でも正しく位相計算が出来る。

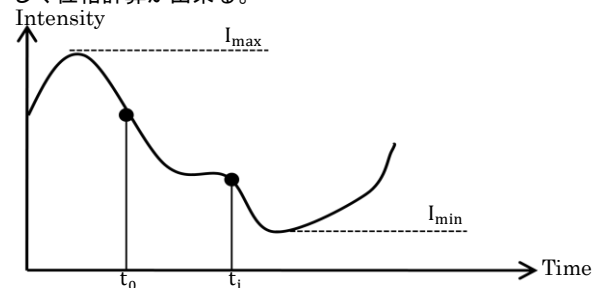


Fig.1 Light intensity change on a pixel of CCD camera

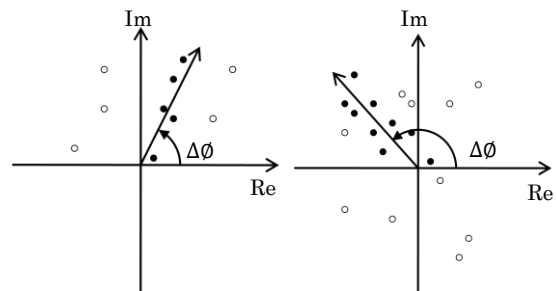


Fig.2 Complex plane plot

Fig.3 Complex plane plot

2.3 二次元変形測定

二色のレーザー光が被測定面上で直交するように配置し、干渉画像をカラーカメラで連続的に撮影、コンピュータに取り込む。取り込んだ画像は各色成分に分離し、先ほどの計算により各方向の面内変形量を求める。

3. 測定実験

3.1 実験装置

光学系は、He-Ne レーザ(波長:638nm)、DPSS レーザ(波長:532nm)、CCD カメラ(撮影枚数:約 60 枚/sec)、レンズ、ビームスプリッター、反射鏡を用いている。各軸の光学配置は図 4 のとおりである。それぞれの軸は図 5 の様に試料の中心を交点とし直角に交わるように配置してある。試料は、厚さ:約 0.5mm ゲージ部の幅:7mm ゲージ部の長さ:35mm のアルミ板を用いた。試料表面は艶消しホワイトを薄く塗装をした。試料の変形については、自作の引張試験機を用いて行った。引張試験機の引張速度は、無負荷状態で約 1.2[$\mu\text{m}/\text{sec}$]である。

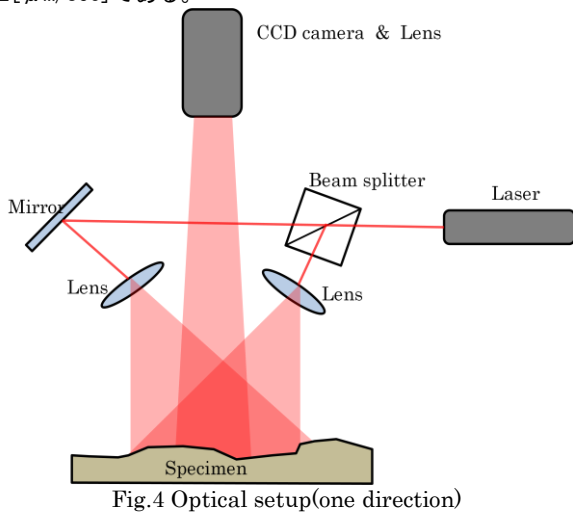


Fig.4 Optical setup(one direction)

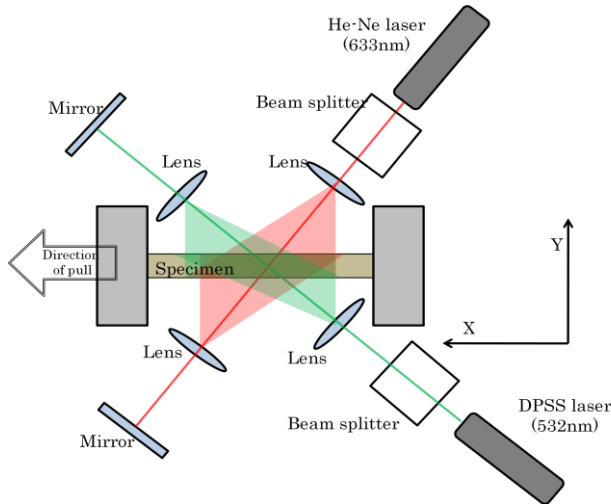


Fig.5 Optical setup(two directions)

3.2 実験方法

引張試験機にセットされた試料を引っ張り、変形により生じる干渉像をカラーカメラで連続的に撮影し保存(今回は一万枚撮影毎に保存)、コンピュータで計算し、各レーザー軸方向の変形量を求める。レーザー軸方向の変形量の和と差より、引っ張り方向とそれに垂直な方向の二方向の面内変形量を計算し求める。

3.3 実験結果

今回は、破断直前の二次元変形について測定する事をメインとし実験を行った。破断位置を明確にするために、ゲージ部中央付近に少し傷をつけておき、そこを中心に撮影した。実験では、引っ張り方向を X 軸とし、それと垂直な軸を Y 軸とした。

結果は以下の通りである。図 6 の (a)、(b) はそれぞれ X 軸方向の変形量とその変化量を 3 μm 周期で表示したもの、(c)、(d) は Y 軸方向の変形量とその変化量を 1 μm 周期で表示したものである。変形量が大きいほど白く、反対に小さいと黒く表示されている。

結果より以下の事がわかる。

- 1) X 軸方向の変形量は引っ張り方向(左側)に行くに従い大きくなっている。
- 2) 他の場所と比べ、破断位置での変形量の変化が激しくなっている。

これらの事は、引っ張りの際起こると思われる現象の説明を満たすもので、測定結果は正しくと思われ、二方向の面内変形量を測定する事が出来たと考えられる。

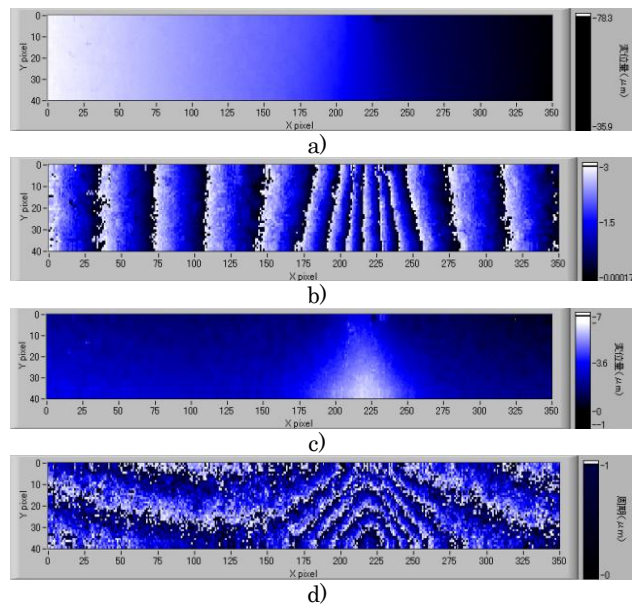


Fig.6 Experimental results . (a)Amount of deformation (X axis) (b)Deformation cycle (X axis) (c)Amount of deformation (Y axis) (d) Deformation cycle (Y axis)

4. 考察

今回の実験では、二方向の面内変形量を測定することが出来たと思われる。

しかしながら、変形速度が大きい場合では正しく測定が出来なかった。その理由として、(1)干渉光強度が乱れる(2)干渉画像を撮影する間に干渉光の位相が $\pi/2$ 以上変化するの二つが考えられる。今後、このような場合でも測定出来る方法を考える必要があると思われる。

参考文献

- 1) 安達、稲部、連続取り込みスペックル干渉画像における初期位相測定法、精密工学会誌、66、9、2000、1419
- 2) 安達ほか、スペックル干渉計でのモジュレーション変動下の連続大変形計測、精密工学会誌、68、10、2002、1326