

ホログラフィ干渉法およびスペckル干渉法による全視野ひずみ計測

長崎大学大学院 学生会員 ○ 神原 天鳴 長崎大学工学部 正会員 松田 浩
長崎大学 学生会員 大石 裕介 長崎大学工学部 正会員 森田 千尋

1 はじめに

ひずみ計測にはひずみゲージを計測点に直接貼付するひずみゲージ法が最も一般的であり、非常に信頼性の高い方法であるが、ひずみのデータが得れるのはゲージを貼付したゲージ長のひずみのみであり、ひずみ分布を調べるには多枚のゲージを貼付する必要がある。また計測点に直接ゲージを貼付する必要があるため、様々な条件によって計測が制限される場合がある。

本研究では、非接触全視野計測法の有効性を調べることを目的として、レーザホログラフィ干渉法による固有モード図および、レーザスペckル干渉法による全視野のひずみの計測を行った結果を報告する。

2 ホログラフィ干渉法

2.1 ホログラフィ干渉法の原理

ホログラフィ干渉装置の光学系を図-1に示す。レーザ源から出た光をビームスプリッターによって二分割し、エキスポンダに通す。一方を対象物に照射し、その反射光を物体光として写真乾板に照射する。もう一方は、参照光として直接写真乾板に照射し、両者を乾板上で干渉させる。その干渉縞をホログラムとして記録する。

記録されたホログラムを現像処理した後、参照光と同じ波長のレーザ光を照射することで、対象物の像がホログラムに三次元画像として映し出される。

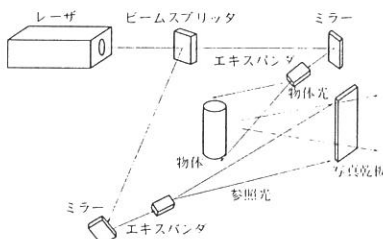


図-1: ホログラムの記録

2.2 ホログラフィ装置を用いた振動モード図

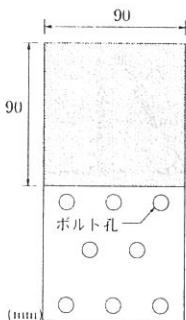


図-2: 試験片寸法

ホログラフィ干渉法を用いて試験片の面外方向の変位を求めるため、振動絶縁された防振台上で振動実験を行った。図-2に示す寸法のアルミ合金製の試験片を完全固定して、試験片の後方からスピーカーにより音圧を与えて加振させる。共振周波数はスピーカーの周波数を変化させて試験片の裏面下側に貼付したひずみゲージ、また圧電素子フィルムにより決定した。

2.3 結果と考察

ホログラフィ干渉法を用いて試験片の共振点における固有モードを得ることができた。その1次モードから3次モードの固有モード図および固有周波数を写真-1に示し、同様にFEM解析によって得られた結果を写真-2に示す。

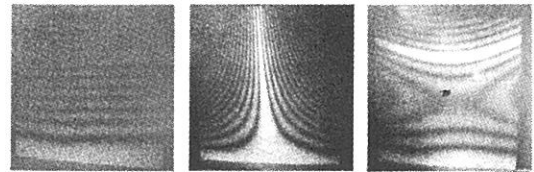


写真-1: ホログラフィによって得られた固有モード図

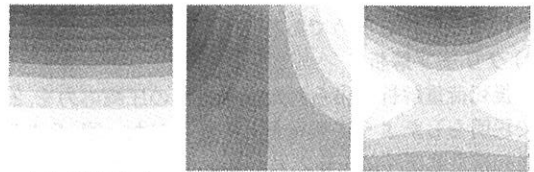


写真-2: FEM解析によって得られた固有モード図

写真-1に示すような共振時の面外方向の変位分布がホログラフィによって得ることができる。ホログラフィのよって得られたモード図とFEM解析によって得られたモード図を比較するとほぼ近似していることがわかる。

今回のホログラフィ干渉法を用いた実験では記録材料に写真乾板を用いているため、暗室での実験が絶対条件となるだけでなく、振動などの外乱に弱く非常にデリケートである。また、実験後、その結果良否を見るためには、約30分程度の現像処理が必要となるため、リアルタイムで計測に要求される変位分布を追う事が不可能である。

3 スペckル干渉法

3.1 スペckル干渉法の原理

レーザ光を粗面に照射すると光が乱反射する。レーザ光の可干渉性のためランダムな位相の光が重ね合い干渉して、斑点模様を観察される。この斑点模様はスペckルパターンと呼ばれる。スペckル干渉法は、図-3に基本的な光学系を示すように2つ以上の光路を重ね合わせた時に生じるスペckルパターンを利用して変位を求める方法で、1つのレーザ光を2方向に分け別々の光路をたどった後に再び合わさって像面に達する。これらの干渉計の光路差は粗面の各点ごとに不規則に変化するので像面には写真-3(a)に示すようなパターンが形成される。

荷重・荷重などにより物体の各点が変位すると光路差が変化し、対応するスペckルは明暗を変えるが (b) のように全体は同じように見える。この場合に光路差の変化量が波長の整数倍なら、スペckルの明暗は元のままにとどまる一方、変化量が波長の半整数倍の位置では反転する。そのため (a)(b) のパターンとの差の絶対値を取ることで (c) のようなスペckル干渉縞を得ることが出来る。

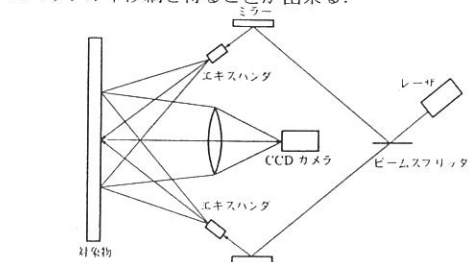
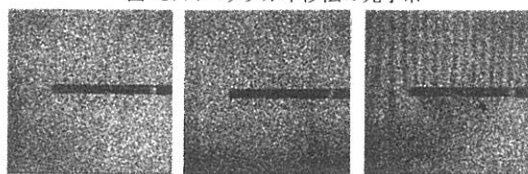


図-3: スペckル干渉法の光学系

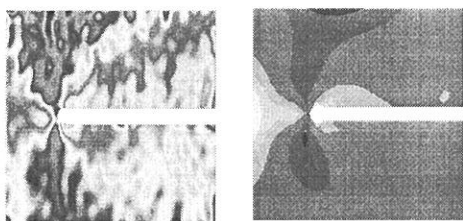


(a): 変形前 (b): 変形後 (c): 干渉縞

写真-3: スペckル干渉法による干渉縞の形成

3.2 スペckル干渉法を用いたひずみ計測

写真-3(c)の干渉縞はx軸方向の変位分布を表わしている。レーザ光の波長程度の変位につき1本の干渉縞が表われている。この得られた変位分布と試験片の寸法、材料定数をもとにx軸方向ひずみ分布を求めたものが写真-4(a)である。写真-4(b)は比較のためにFEM解析によりx軸方向のひずみ分布を求めたものである。(a)と(b)を比較すると、ほぼ同じようなひずみ分布図が得られていることがわかる。このことより、スペckル干渉法により求められたひずみ分布の信頼性が示された。



(a): スペckル干渉法 (b): FEM 解析

写真-4: x軸方向のひずみ分布図

次に、スペckル干渉法から得られたひずみ値の精度を確認するため、図-4に示すようなアルミ合金製の試験片を製作し引張試験を行なった。引張試験には、万能試験機((株)島津製作所製 AUTOGRAPH AG-10kNG)、計測には、電子式スペckル干渉計(Ettenmeyer社製(レーザ光波長780nm))を用いる。ひずみゲージ法とスペckル干渉法のひずみ計測の比較のために、試験片中央縦方向にひずみ

ゲージ(FLA-5-11)を貼付した。図-5はひずみゲージによって計測されたひずみ値と同じ部分においてスペckル干渉法によって得られるひずみ値の荷重-ひずみ曲線である。同図からわかるように、二つの値がほぼ一致していることから、スペckル干渉法で得られるひずみ値はひずみゲージ法と同程度の精度で計測可能であると考えられる。

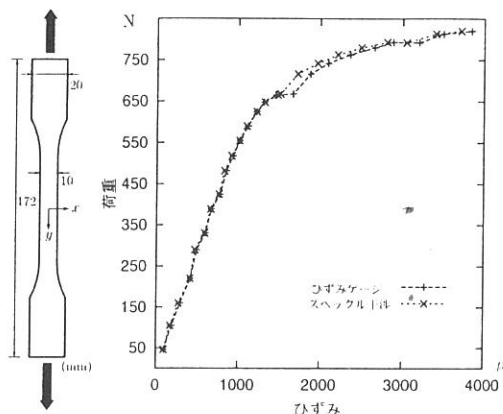


図-4: 試験片寸法

図-5: ひずみの比較

3.3 スペckル干渉法の利点と問題点

ホログラフィ干渉法はCCDカメラの現段階での解像度が低いため画像として干渉縞を記録することが不可能であるが、スペckル干渉法では、干渉縞の記録にCCDカメラを使用して画像処理を行うことができるため、ホログラフィ干渉法の課題の一つであった現像時間が不要となり、リアルタイムのひずみ分布を計測することが可能である。また、写真乾板を用いる必要がなく、可視光線の中での計測が可能で、さらに非接触計測であるので様々な状況でのひずみ計測が可能である。スペckル干渉法の感度は約0.39nm~30nmの範囲であるため、急速に大変形を起す対象物の計測には不向きであるが、緩やかな変位変化であれば計測は可能である。しかしながら、ホログラフィ干渉法と同様に、振動に弱いという欠点もある。

4 まとめ

今回行ったホログラフィ干渉法を用いた固有モード図の計測、およびスペckル干渉法を用いたひずみ分布の計測は双方とも欠点はあるものの、レーザ光を用いているため、ひずみゲージ法とは異なり、非接触での全視野計測が可能という大きな利点をもっている。さらに、スペckル干渉法においては、ひずみゲージ法と同様のひずみ値を得ることが可能なため、ひずみゲージの貼付が困難な条件下においても、信頼性の高いひずみ計測が可能であることが示された。

参考文献

- 1) 久保田敏弘: ホログラフィ入門, 浅倉書店
- 2) 辻内順平: ホログラフィ, 裳華房
- 3) 辻内順平, 黒田和男: 最新光学技術ハンドブック, 朝倉書店
- 4) 内野正和, レーザスペckル計測とその応用