

氏名（本籍）	山本裕子(和歌山県)
学位の種類	博士(工学)
学位授与番号	甲第16号
学位授与日付	平成19年3月23日
専攻	システム工学専攻
学位論文題目	モアレ干渉法による2次元変位同時計測法の開発
学位論文審査委員	(主査)教授 森本吉春 (副査)教授 戸田裕己 教授 伊藤昌文 教授 新川和夫(九州大学応用力学研究所)

論文内容の要旨

1. 研究背景

設計製造技術の進歩により構造物の複合化・微小化が進み、安全性確保のためこれらの構造物に対する強度評価方法も新しく開発される必要がある。強度評価方法としては多くのものが開発されているが、産業現場で使用されている方法の多くはひずみゲージによるものであり、他の種々の有効な手法があるにも関わらずあまり使用されていないのが現状である。

構造物の内部または表面の変位・応力・ひずみなどの測定や破壊現象の解明に対し、種々の光学的手法がこれまで用いられ、様々な現象に対して多くの知見を得てきている。これらの光学的手法の中にモアレ干渉法があり、光の波長程度の微小変位の計測が行えることから、これまでに様々な構造物の変位・ひずみ解析に応用されている。モアレ干渉法は2次元の回折格子を用いることにより、構造物表面に生じる光の波長程度の微小変位を2次元的に観測することができる。非常にコントラストのよい縞画像が得られる点が特長であり、精度よく構造物の変位・ひずみを解析できる。最近ではコンピュータによる解析に適した位相解析手法なども開発され、それらをモアレ干渉縞に適用することにより、さらに高精度な解析が可能となっている。また試料に変形状態を記録し、後に変位量を計測する手法も開発され、電子デバイスの熱変形問題などにも適用されるようになってきた。これにより微小な電子デバイスの内部で生じる熱変形の解析が可能となり、昨今問題となっているデバイスの高集積・小型化に伴う熱応力の問題に対しても多くの有用な知見を得てきている。

しかしながら、これまでのモアレ干渉法による変位計測の多くは、2次元の変位を個々に求めるものであった。この方法では、応力・ひずみ状態などが時間的に変動する問題や、同一条件下においていつも同じ変形をすとは限らない問題などに適用することが難しい。また、実験環境が同じ条件の下でも複数の画像間での空間的な位置の対応を得ることが困難であるという問題も存在している。これらの問題点を克服するために2次元の変位を同時に計測する手法が求められている。

2. 本研究の目的

上記の問題点を克服するために、本研究ではモアレ干渉法による変位計測において試料物体の2次元変位同時計測法の確立を目指す。これを実現するために、計測試料に4方向から光を同時に入射した際に生じるモアレ縞から、求める変位を表している2つのモアレ縞を抽出する方法、およびその2つの縞から個々の方向の変位成分を分離・抽出する位相解析手法を開発する。2次元の変位を同時に計測することができれば、動的変形を含めこれまで解析が困難であった時間依存性のある問題等に対しても適用可能であり、種々の有効な知見が得られると期待できる。

3. 本論文の構成

第一章「緒論」

モアレ法、モアレ干渉法、種々の位相解析手法についての説明と、既往の研究成果を概観し、問題点を明らかにした後、本研究の目的を述べる。

第二章「2次元変位同時解析法の開発」

複数の干渉縞から所望の干渉縞を分離する手法を開発する。同時4ビームモアレ干渉法を用いる場合、所望の2種類のモアレ縞の他に不要な干渉縞も同時に発生する。光学系のレンズの焦点面において入射光の焦点位置に条件を持たせることによって、不要な干渉縞の周波数だけが高くなるように入射光の角度を調節する。これにより不要な干渉縞の影響を無視できる状態を作り出すことができ、二つの所望の干渉縞だけをカメラに撮影することが可能となる。

次に、実験で得られた2変位成分が同時に撮影された干渉縞画像から個々の干渉縞の位相を求める手法、すなわち2成分同時位相シフト法および2成分同時積分型位相シフト法を開発する。個々の干渉縞の位相を異なる速さで変化させながら12枚の画像を撮影し、一方の縞の位相が一定値を取る画像から他方の縞の位相値を算出する。これにより2種類の縞が重なった画像から、各縞の位相値を同時に決定することが可能となる。

この手法をモアレ干渉法による変位計測に適用する。試料に入射する平行光が4本になる4ビームモアレ干渉法の説明を行った後、位相シフトを可能とする実験系の説明を行う。静的な変形問題に適用し、提案する位相シフト法の有効性を確認する。

第三章「電子部品の熱変形計測」

2成分同時積分型位相シフト法をモアレ干渉法に適用して、電子部品の熱変形計測を行う。電子デバイスすなわち3端子レギュレータの熱変形挙動を実時間で計測し、提案手法の有効性を確認する。また既存の位相解析手法である2次元フーリエ変換法で得られた位相分布画像と比較することにより、提案手法の利点および欠点を述べる。

第四章「2次元変位同時計測法の高精度化」

2成分同時積分型位相シフト法は、撮影された画像の全てを有効に利用できていないという問題がある。そこで2種類の縞の位相解析にフーリエ変換位相シフト法を用いる方法を提案する。これは既に開発されている手法であるが、この手法を2種類の縞の分離に応用し、撮影された画像の情報を全て用いることによって高精度な解析を行う。2種類の縞は12枚の画像が撮影される間に、それぞれ3および4周期分位相が変化している。このことから12枚の画像の各点において時間軸方向にフーリエ変換を行うと、周波数成分が3および4のところに高い値を持つスペクトラムが得られる。これらの成分を別々に抽出し逆変換を行うことにより、各縞の位相値を算出する。所望の周波数成分を抽出することによりノイズの影響を小さくすることが可能となる。

本手法を用いて電子部品の熱変位計測を行う。前章で行った2成分同時積分型位相シフト法を用いた実験結果と比較することにより、本手法の有効性を確認する。

第五章「2次元変位同時計測法の高速度化」

前章において用いたフーリエ変換位相シフト法は、ノイズ成分を除去できる一方、フーリエ変換を利用しているため位相算出に時間を要する。この点を克服するためエイリアシング現象を利用する手法を開発する。周波数解析問題において、エイリアシング現象は本来避けるべき不要なものであり、この現象が起こらないようにサンプリング数などを決定するのが一般的である。本章ではエイリアシング現象を逆に利用して、これまで必要としていた画像枚数を低減させる手法を開発する。本手法をモアレ干渉法による電子部品の熱変形計測実験に適用し、変位分布を時系列で計測する。

第六章「結論」

本研究の成果を総括した後、今後の課題について議論する。

論文審査結果の要旨

本論文は、構造物の微小変形を光学的に計測するモアレ干渉法において、2次元変位分布の同時計測法の開発を行ったものである。不要干渉縞の除去法や2種類の干渉縞の分離を行う新しい方法を種々提案した。この方法を電子部品の熱変形計測に適用し、面内の2次元ナノメートル変位分布を同時に連続的に計測した。高速、高精度に2次元ひずみ分布の計測が可能な独創性と有用性のある研究であり、博士論文として価値ある業績と判断する。

最終試験結果の要旨

公聴会（平成19年2月7日）において、全審査委員を含み22名の出席者のもと、種々の質問がなされたが、いずれも著者の説明により、質問者の理解が得られた。また、多数の学術雑誌と国際会議等における論文発表、特許取得等多くの業績を有し、また学会から奨励賞を受賞している。よって専門分野の学術研究を行うに十分な教養と研究能力を有していると判断でき、博士の学位論文として合格と判定する。