

モアレを利用したマルチスケール 変位・ひずみ分布計測技術の開発

SATテクノロジー・ショーケース2018

■ はじめに

変位・ひずみ分布計測は社会インフラから電子デバイスに至る幅広いスケールの構造体検査で必要とされている。喫緊の社会課題である高度成長期に建てられた老朽化したインフラの維持管理においては、短時間に安価で、かつ高い信頼性で検査できる技術が求められている。橋梁を一例に挙げると、国土交通省が定めた橋梁点検示方書に許容たわみ量が構造形式に応じて規定されていることから、変位計が従来のたわみ計測に使われてきた。しかし変位計は取付けに時間が掛かる、コストが高いといった問題があり、変位計を置換する新しい計測技術の開発が求められている。話題を微小スケールに変えるとパワーデバイスに代表されるように近年、高温で動作する電子デバイスの開発が進められている。その開発では熱ひずみによる破損を防ぐため、ナノ・ミクロンサイズにおける正確なひずみ分布計測が求められている。

上記した巨大構造物から電子デバイスに至るマルチスケールに渡る変位・ひずみ分布計測ニーズに応えることができる、測定対象のデジタルイメージを画像処理して得られるモアレを利用した画像計測技術を紹介する。

■ 活動内容

1. モアレを利用した変位・ひずみ計測技術の開発

二枚の格子模様を重ね合わせたときに“モアレ”と呼ばれる1種の拡大現象である干渉縞が現れる。一方の格子にわずかな変位・ひずみが生じるとモアレ模様は大きく変化する。(図)つまりモアレを利用して変位・ひずみを拡大して観察することができる。構造物の変位・ひずみ計測にこの原理を利用するには、格子模様のデジタルイメージからモアレを作成する画像処理技術、ならびにモアレの解析技術が必要とされ、本研究ではこれらの技術にサンプリングモアレと呼ばれる手法を用いて変位・ひずみ計測を行う。

2. 社会インフラの変形計測

従来利用されてきた変位計やひずみゲージを用いて大型構造物の変形、ひずみを計測する場合、計測箇所が多いと非常に手間とコストが掛かる。本研究で提案する画像計測は格子模様を貼り付ける、または構造物が有する周期的構造を利用して、容易に変形分布計測ができる。これまでに下記の変形分布計測を実施してきた。

- JAXAが開発するロケット構造物の変形計測
イプシロンロケット燃料容器の荷重と変形関係の評価
- 常磐道に新設された橋梁のたわみ計測

いわきー仙台間に新設された9橋梁のたわみを評価

● 首都高速道路のたわみ計測

首都高速道路は大半が一般道に架かる高架道のため、地面と高架を結んだワイヤでたわみを計測する従来技術が適用できる箇所は限られていた。画像計測を利用することで高架道のたわみ計測が容易になった。

3. デバイス等、微小構造物のひずみ分布計測

ナノインプリント技術を利用してナノ・ミクロンサイズの格子模様をデバイスなどの小さな測定対象に設け、走査プローブがもう一つの格子となる機能を有するレーザ走査顕微鏡といった顕微鏡観察下で、熱や外力を与えた際の微小ひずみや残留ひずみ分布を計測する技術を開発した。

■ 特許情報

- 李志遠、津田 浩「規則性模様による変位分布のための測定方法、装置およびそのプログラム」PCT/JP2013/082701
- 王 慶華、李志遠、津田 浩「二次モアレ縞による顕微鏡走査ゆがみの影響を受けない変形測定方法」特開 2016-142726

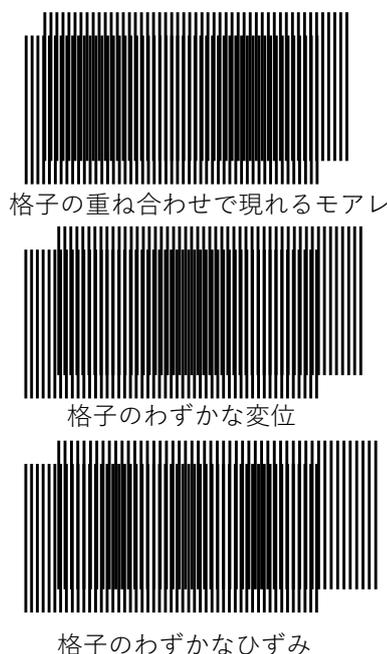


図 わずかな変位・ひずみを拡大するモアレ

代表発表者 **李志遠(リ シエン)**
所属 **産業技術総合研究所
分析計測標準研究部門**

問合せ先 〒305-8568 つくば市梅園 1-1-1 中央第二
TEL:029-849-1065 FAX:029-861-5881
ri-shien@aist.go.jp

■キーワード: (1) 変形計測
(2) 画像処理
(3) 全視野計測

■共同研究者: 王 慶華、津田 浩
産業技術総合研究所
分析計測標準研究部門

■ モアレを利用した変位・ひずみ分布計測

規則格子を重ね合わせることで得られるモアレ縞は、わずかな格子の変位・ひずみを大きな模様変化として検出する。逆に言えばモアレ縞の模様変化を解析することでわずかな格子の変位・ひずみが評価できる。格子模様を有する測定対象を撮影したデジタルイメージに間引き、輝度補間といった画像処理を施すことでモアレを生成することができる。変位・ひずみ前後のモアレ模様変化を高速フーリエ変換(FFT)や離散フーリエ変換(DFT)で解析することで変位・ひずみを評価でき、測定対象に設けた格子間隔の0.1%の精度で変位を計測することができる。たとえば間隔10cmの格子模様を測定対象に貼り付けた場合は、10cmの0.1%である100 μ mの変位を検出することができる。解析では計算負荷が小さなFFT、DFTを用いることから、ほぼリアルタイムで変位・ひずみ分布計測が可能である。

■ 社会インフラの変形計測のために開発した新技術

従来、モアレ技術を利用した画像計測は構造物に周期模様を描き込む、または貼り付けていた。しかし巨大インフラ、たとえば海峡に架かる長大橋に周期模様を取り付けることは極めて困難である。しかし巨大構造物は往々にして周期的構造を有する。例えばスパン長367mの若戸大橋(北九州市)は周期間隔2.25mのトラス構造を有することから、このトラス構造を周期模様と見なすことで、橋梁の全体写真からトラック通過時のたわみ分布変化を評価することができた。

従来、橋梁のたわみ計測は橋軸方向に正対する位置にカメラを設置して写真撮影していた。しかし東北大震災の影響で工事が遅れた仙台-いわき間の常磐自動車道に新設された9つの橋梁は高放射線量地域にあることから、撮影箇所が制限され、しかも短時間で橋梁のたわみを計測できる画像計測法の開発を道路運営会社から求められた。そこでカメラを橋台に設置し、橋軸方向から撮影した画像から橋梁のたわみを計測するための解析技術を開発した。従来の橋梁に正対する位置にカメラを設置した方法では、川、道路、鉄道に架かる橋のたわみ計測は難しかったが、この計測技術は適用範囲を大幅に拡大した。

■ デバイスなど微小構造物の変形分布計測技術

微小構造物の変形分布計測において下記の新しい技術を開発し、顕微鏡を利用した画像計測技術を実用的な段階に高めた。

画像計測法に利用しているレーザ顕微鏡、走査電子顕微鏡などプローブ光を走査する顕微鏡では走査線のゆがみ(以下、走査ひずみ)は避けられない。顕微鏡の走査線を基準格子と見立て顕微鏡観察対象をモアレ技術から変形・ひずみ分布計測するとき、この走査ひずみが計測結果に悪影響を与えていた。そこで走査ひずみを含んだ画像の位相差を評価することで走査ひずみの影響を除去できる二次モアレ技術を新たに開発した。

また従来のモアレ法では視野と感度を両立させた変位・ひずみ計測は困難であった。そこでモアレ縞を新たなモアレ縞を生成するための格子として扱うことで、従来と比べて10~100倍の広視野で物体の三次元形状と変位・ひずみ分布を評価できる外乱に強い計測技術を開発した。

デバイスメーカーとの共同研究でこれらの技術を電子デバイスの残留熱ひずみ分布計測に適用した結果、シミュレーションから評価された熱ひずみ分布と良く一致し、モアレ技術を適用したひずみ分布計測の有効性が実証された。共同研究先メーカーはこの計測技術を導入し、今後、添加物を調整したデバイスのひずみ分布を計測することで壊れにくいデバイスの材料設計指針を得ることに大きな期待を寄せている。

■ 透過電子顕微鏡像の転位検出

電子デバイスの開発では性能維持、長寿命化のため転位密度を下げるためのプロセス改善が計られている。転位観察には透過電子顕微鏡(TEM)が用いられるが、目視から転位を観察するには拡大された画像を用意する必要があり、転位分布を評価するには拡大画像を接続する作業が必要であることから極めて困難な作業となる。

我々は結晶構造を持つ原子配列像を二次元フーリエ変換し、原子配列の主方向成分に分解した格子像からモアレを作成すると転位箇所ではモアレ模様が分岐、または中断するなど不連続挙動を取ることをシミュレーションで確認した。そしてこの画像処理をTEM写真に適用して転位分布を評価することに成功した。具体的にはGaNパワーデバイスのTEM写真に転位を画像処理から検出するアルゴリズムを適用して、転位箇所と転位密度を自動検出した。

この解析結果は結晶構造を有するTEM写真に適用可能な技術で、解析結果を製造プロセスにフィードバックさせることで転位欠陥の少ないプロセスを確立することができる。