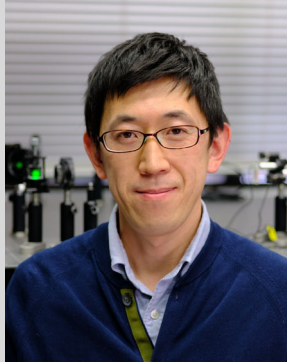


縞画像の高精度位相解析技術の開発と応用



李志遠

り し え ん

ri-shien@aist.go.jp
産業技術総合研究所
計量標準総合センター
分析計測標準研究部門
非破壊計測研究グループ
主任研究員

2006年3月に和歌山大学システム工学研究科博士後期課程修了、博士(工学)。同大学にてJSPS・特別研究員、東北大学大学院工学研究科の助教を経て、2011年4月に産業技術総合研究所に入所以来、モアレ法を中心とした光学的計測手法の基礎研究の開発と、それを生かした先端材料やインフラ構造物の変位・ひずみ分布評価への応用研究に従事しています。

共同研究者

津田浩、王慶華、夏鵬、叶嘉星、遠山暢之(産総研)、小山元道(東北大)、津崎兼彰(九州大)、佐藤英一(ISAS/JAXA)、Q. Kemao(シンガポール・NTU)、K. Chang(台湾・ITRI)、吉田剛(IHI エアロスペース)、白崎広和、栗林健一(JR 東日本)、永田佳文(首都高)、小寺雅子、宮下直人(東芝) 他企業様多数。

先端材料の力学特性やインフラ構造物の健全性を評価するために、全視野での変位・ひずみ測定可能なサンプリングモアレ法をマルチスケールの変形測定に適用し、原子レベルでの欠陥検出から橋梁の微小たわみ計測まで幅広いスケールでの測定が可能になりました。また、世界で初めて時空間の高次元輝度情報を同時に利用することで、周期誤差が発生しない時空位相シフト法を開発しました。同位相解析技術は、固体力学のみならず、今後生体力学、流体力学、宇宙天文学への応用も期待できます。

はじめに

縞画像の位相解析技術は、コンピュータとデジタルカメラの技術的進歩とともに1980年代から急速的に発展してきた[1]。代表的な空間的な位相解析法(Spatial phase analysis)として、フーリエ変換法や窓付フーリエ変換法、サンプリングモアレ法が挙げられる[2]。また時間的な位相解析法(Temporal phase analysis)として位相シフト法が最もよく使われている。現状世界中で100種類を超える位相シフト法(Phase-shifting method, PSM)が報告されているが、いずれも時間方向の1次元の輝度情報のみを用いた手法である[3]。筆者は産総研入所後に、主に空間的な位相解析法であるサンプリングモアレ法(Sampling moiré method, SM)に関する応用研究を進めてきた。最近では新しい位相解析法である時空位相シフト法(Spatiotemporal phase-shifting method, ST)も開発したので、これらの技術の特徴とこれまでの応用例、さらに今後の応用展開(その可能性)を紹介する。

サンプリングモアレ法による変位計測

サンプリングモアレ法[4]は、古くから知られている1種の拡大現象であるモアレ(moiré)を利用して、撮影された規則模様に対して、空間周波数のダウンサンプリングに相当する間引きと輝度補間処理を行うことで、1枚の格子画像から同時に複数枚の位相がシフトされたモアレ縞画像を得ることができ、モアレ縞および元の縞画像の位相分布を求めることができる。この方法は構造物表面に貼り付けた規則模様を変形前後にその格子画像をカメラで撮影するだけで、格子ピッチの1/1000の精度で変位分布を測定できるため、構造物の微小変位測定に極めて有効である[5]。

サンプリングモアレ法は原子レベルでの転位欠陥検出[6]から、CFRPやTi合金などの複合材料のひずみ分布計測[7]に加えて、橋梁構造物のたわみ計測[8,9]まで幅広いスケールでの適用が可能である。

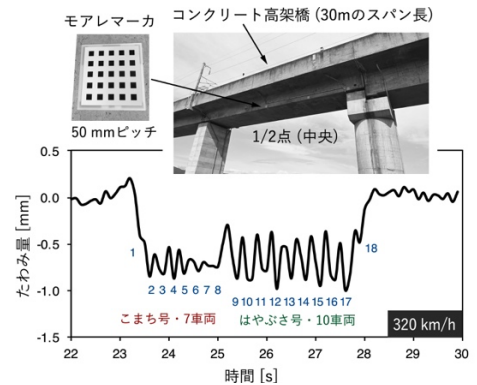


図1 インフラ構造物のたわみ計測

図1にサンプリングモアレ法による東北新幹線(はやぶさ号10車両とこまち号7車両の計17車両)が時速320キロで通過するコンクリート高架橋の中央部分におけるたわみの測定結果を示す[10]。ここでは橋梁の中央部に予め50mmピッチのモアレマーカを貼り付けて、約30m離れた場所に設置された産業用CCDカメラを用いて10fpsで撮影された画像から求めた時系列でのたわみ量である。下り線での実験のため、前半のこまち号の7車両と後半のはやぶさ号の10車両の計17車両が高架橋を通過した際に発生した1mm未満のたわみ量を測定することができ、サンプリングモアレ法の有効性を示した。

ところで企業連携において、多くの方のご協力の下でいくつかの現地検証実験をさせていただく機会があった。実験室と違って現場ならではの課題にその都度直面するが、それぞれの課題を克服することで新たな知財が生まれるチャンスも多い。例えば、NEXCO 東日本との橋梁たわみ計測[11]や首都高速道路との重量測定[12]との共同出願が挙げられる。

上記の一連の研究業績により、第27回つくば奨励賞(実用化研究部門、2017.9)、土木学会の年次学術講演会優秀講演者表彰(2017.11)、日本非破壊検査協会の睦賞(2018.6)や日本実験力学学会の技術賞(2019.9)などを受賞した。