

サンプリングモアレ法を利用したドローン空撮による橋梁のたわみ計測の開発

(国) 産業技術総合研究所 正会員 ○李 志遠
 非会員 叶 嘉星 遠山 暢之 王 慶華 山本 哲也
 (株) CORE 技術研究所 正会員 小椋 紀彦
 京都府 非会員 寺岡 毅
 京都大学 正会員 塩谷 智基

1. はじめに

社会インフラの老朽化に伴う保守点検の必要性や維持修繕費の増大が顕在化されている。交通インフラの一つである橋梁の健全性の評価には、たわみ計測が急務であるが、リング式変位計やレーザ変位計などのセンサは、設置費用や計測時間等に関する観点から、現場に適用することは必ずしも容易ではない。サンプリングモアレ法¹⁾による変位計測技術は、構造物に貼付した規則模様（マーカ格子）をカメラで撮影することで構造物の微小たわみを測定できる手法であり^{2,3)}、マーカの格子ピッチの1/1000（1/100画素に相当する）となるサブミリオーダーでのたわみ量まで解析することができる高精度かつ簡易な手法である。本手法における撮影においては、従来、画像ぶれを抑えるためにカメラを三脚に固定する必要があった⁴⁾。そのため、海洋や河川、山間部、渓谷などに架かる橋梁では撮影可能な場所を確保することが困難であった。

本研究では、新たな画像ぶれ補正技術を導入することにより、ドローン空撮における橋梁のたわみ測定においても安定した変位計測技術を確立することに成功した。実橋でのドローン検証実験として、20トンの試験車両による通過試験を実施した結果、従来の方法と同等な約3mmのたわみ量を得ることができた。今回新たに開発したドローン画像計測技術により、三脚を用いてカメラを地面に固定して撮影する必要性がなくなり、海洋や山間部に架けられた橋梁のミリオーダーでのたわみ計測が可能となる。

2. 計測原理

変位分布を高精度で測定できるサンプリングモアレ法¹⁻³⁾を適用して、ドローン空撮による橋梁構造物のたわみ計測を実現できる方法を新たに開発した。図-1にドローンの空撮による橋のたわみ計測の原理を示す。まず、一定のピッチを有する模様を測定マーカとして橋の中央部と、固定（基準）点となる左右の橋脚部にあらかじめ設置する。次に、ドローンで遠方からこれらの格子マーカをすべて含むように、試験車両通過時の動画を撮影する。2つの基準マーカの中心座標のずれとその位相変化を用いて画像ぶれ補正を行う。

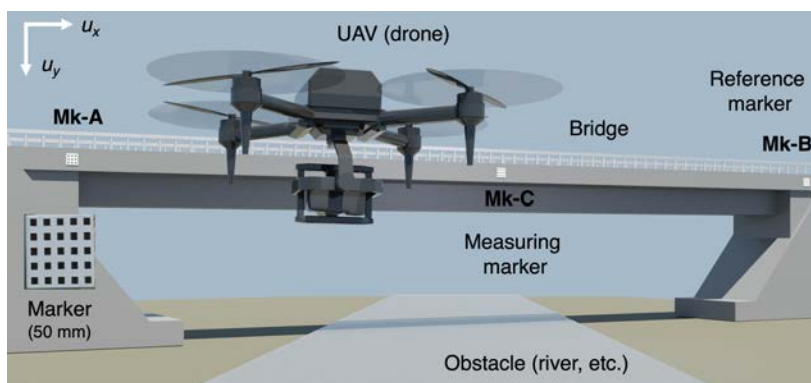


図-1 ドローン空撮による橋梁のたわみ計測の原理の概要図

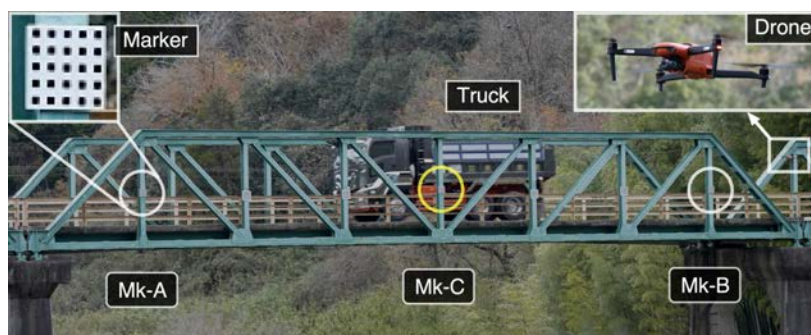


図-2 ドローン空撮による橋梁のたわみ計測の実験の様子

キーワード：橋梁，たわみ計測，サンプリングモアレ法，ドローン，画像ぶれ補正

連絡先：〒305-8568 茨城県つくば市梅園 1-1-1 中央第2 TEL：029-849-1065

3. ドローンによる橋のたわみ計測実験

京都府が管理する某橋梁（3 径間鋼溶接・単純桁トラス橋，1956 年竣工，橋長 87.6 m）を対象に，ドローン空撮によるたわみ計測実験を行った．ここでは，図-2 に示すように，橋の中央桁（30 m 長）の中央と両端のトラス部にそれぞれ測定マーカと基準マーカを設置した．

本実験では，20 トンの試験車両が橋梁を 10km/h で通過する過程を，橋から遠方約 95 m の岸辺に三脚で設置したシネマカメラ（SONY 製 $\alpha 1$ と 135 mm の望遠レンズ）と，橋から約 25 m の距離からドローン（Autel Robotics 製 EVO-II）空撮によりそれぞれ 8K の動画を記録した．記録した動画を用いて得られた時系列でのたわみ結果を図-3 に示す．図-3(a)は，従来の三脚に固定したカメラで記録した動画をサンプリングモアレ法により求めた結果であり，試験車両が橋の中央を通過した際に約 3.5 mm の最大たわみが得られた．橋からの撮影距離が 95 m と遠いため，空気揺らぎなどの影響で測定結果にはややばらつきが多いことが分かる．図-3(b)は，ドローンにより撮影した動画において，画像ぶれ補正後に算出したたわみ計測の結果である．両手法においてほぼ同様な最大たわみ値が得られ，本開発手法の有効性を確認することができた．ドローンによる撮影方法ではアクセスの制限は少ないため，最適な撮影場所に変形画像を記録できるのが利点である．

4. まとめ

サンプリングモアレ法において新たな画像ぶれ補正技術を導入し，ドローン空撮による実橋のたわみ計測を実施した．橋の中央部と左右の橋脚部（固定点）に，それぞれ測定マーカと 2 つの基準マーカを設置してドローン空撮を行い，記録した画像に対して 2 つの基準マーカの中心座標と位相変化を利用して画像ぶれを補正することで，ドローン空撮においても安定したたわみ計測が可能となる．

京都府の某橋梁での実証実験により，従来の三脚に固定したカメラでの解析結果と同程度の測定精度で橋のたわみを測定できることを確認できた．ドローン空撮を利用する本画像計測手法は，河川，山間部，渓谷などを通過する橋梁のたわみ計測に応用できることから，今後橋梁構造物の新しい画像計測手法として大いに現場への適用が期待できる．

参考文献

- 1) Ri, S., Fujigaki, M., Morimoto, Y.: Sampling Moiré Method for Accurate Small Deformation Distribution Measurement, *Experimental Mechanics*, Vol.50, No. 4, pp.501-508, 2010.4
- 2) 李志遠，津田浩：変形分布計測によるインフラ構造物診断技術の開発，非破壊検査，Vol.63, pp.515-521, 2014.10
- 3) 李志遠ほか：インフラ構造物維持管理をするため低コストな変形分布計測技術の開発，検査技術，Vol.20, pp.14-18, 2015.11
- 4) 早坂洋平，成田朋憲，李志遠：橋梁の変位量計測へのサンプリングモアレ法の適用性検証，土木学会第 71 回年次学術講演会講演概要集，CS7-029, pp.57-58, 2016.9

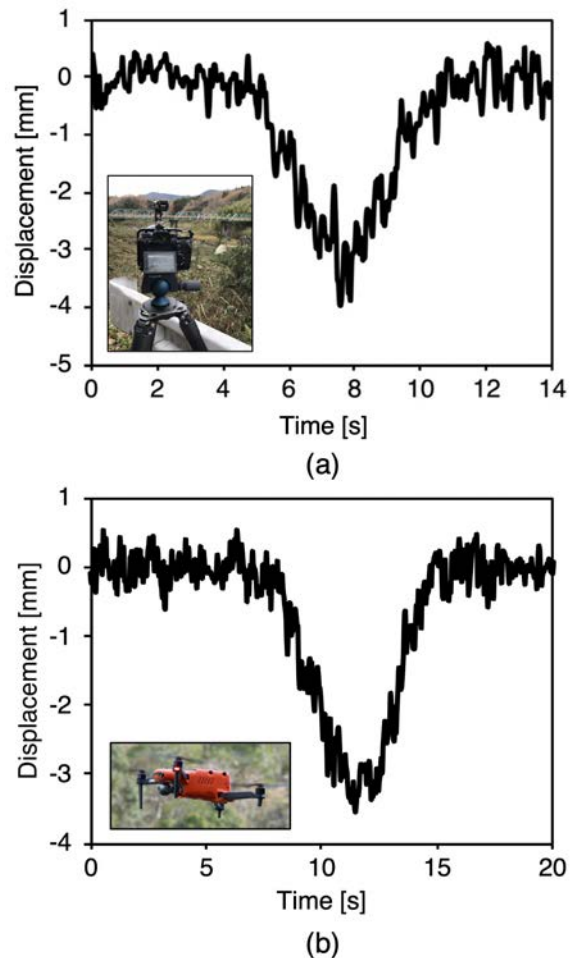


図-3 橋梁のたわみ計測の比較結果：
(a) カメラを三脚に固定して遠方撮影での計測，(b) ドローン空撮での計測