

## サンプリングモアレ法を利用した斜め方向からの撮影による橋梁たわみ計測法の開発

(国) 産業技術総合研究所 正会員 ○李 志遠 津田 浩  
 東日本高速道路 (株) 非会員 成田 朋憲  
 (株) ネクスコ・エンジニアリング東北 正会員 早坂 洋平

### 1. はじめに

高速道路の橋梁延長 9,000 km のうち、約 4 割 (3,700 km) が供用から 30 年以上経過するものである。特に東北地方の構造物は積雪寒冷地特有の凍結防止剤による塩害と長年の凍結融解の繰り返し作用から発生する凍害による複合劣化の進行が顕著であり、床版及び橋梁全体の剛性（耐荷力）の低下が懸念される橋梁が多数存在する。このような橋梁については、適切な維持管理のための現状把握と安全性確保のために補修・補強工事を適切な時期に実施する計画性の確保が重要となる。

従来現場で用いられている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課題があるため、容易に現場に適用できない。特に河川、山間部、渓谷などを通過する橋梁のたわみ計測への適用は困難である。加えて 2011 年 3 月に発生した東日本大震災の影響を未だに色濃く受ける、福島第一原子力発電所周辺の“帰還困難地域”を通過する高速道路等の交通インフラにおいては、高線量区間内で、できるだけ短時間で点検・診断できる技術が強く望まれている。

本稿は、コンクリート橋を対象に、汎用的なデジタルカメラと規則模様の測定マーカを用いて、測定対象物の遠方の斜め方向からの画像撮影により、簡便にかつ高精度で変位を測定できる新しい画像計測技術を開発し、実橋梁構造物へ適用することでその有効性を確認したものである。

### 2. 計測原理

本研究では、近年開発した変位分布を高精度に測定できるサンプリングモアレ法<sup>1-3)</sup>を応用して、橋軸方向<sup>4)</sup>からの撮影のみならず、橋梁の斜め方向からの撮影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 に新たに開発した斜め方向からの画像撮影による変位計測の原理と光学系を示す。本手法では、一定のピッチを有する規則模様を測定マーカとして、橋梁および橋脚部の側面に予め設置する。これを斜め方向から測定部と固定部両方が同時に写るように検査車両が通過する前後の画像を撮影する。斜め方向からの撮影のため、撮影された各マーカ画像は台形のような形になる

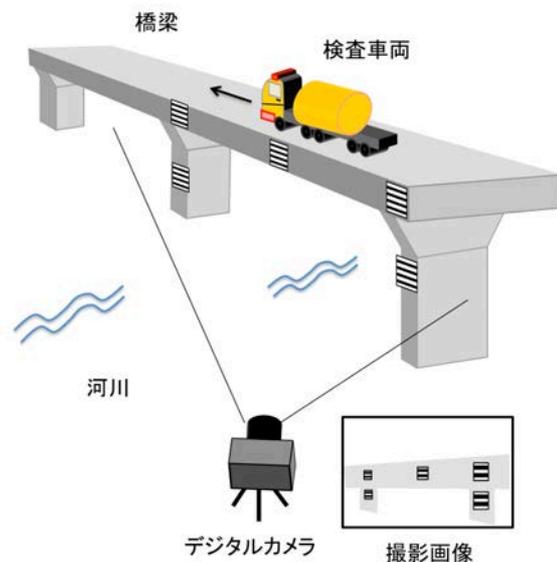


図-1 開発した斜め方向からの画像撮影による変位計測

が、本研究では射影変換の画像処理を利用して、真正面から画像撮影されたように画像変換を行う。射影変換を行った後の画像にサンプリングモアレ法を適用することで、より信頼性の高い変位計測が実現できる。

### 3. 新設した常磐自動車道の実橋初期たわみ計測実験

本研究では、NEXCO 東日本が管理する常磐自動車道(新地 IC～山元 IC)のコンクリート橋 (PRC 箱桁+PRC3 径間連続 2 主版桁橋) を対象に、本研究で開発した画像計測によるたわみ測定実験を実施した。ここでは、橋

キーワード：たわみ計測，コンクリート橋，サンプリングモアレ法，射影変換

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

側面にサイズが  $600 \times 600 \text{ mm}$  で格子ピッチが  $100 \text{ mm}$  の繰り返し規則模様がある測定マーカを数個設置した。図-2(a)は検査車両である散水車(車両総重量が  $21.97 \text{ トン}$ )が  $60 \text{ km/h}$  の速度で橋の中央を通過する際に遠方斜め方向から撮影した画像であり、図-2(b)は射影変換後の画像である。斜め方向からの撮影であるにもかかわらず、射影変換処理により橋梁の真正面から撮影されたような画像が得られている。図-3に射影変換なしと射影変換ありでそれぞれ得られた橋梁のたわみ分布を示す。図-3(a)に示す従来の方法では、画像上の各マーカサイズが異なるため、サンプリングモアレ法で解析する際に、それぞれ個別に最適な解析パラメータを調整する必要がある。またマーカの違いによって、わずかながら計測誤差が生じる場合がある。図-3(b)は、本開発手法により斜め方向から撮影された画像を射影変換してからサンプリングモアレ法より評価されたたわみ分布を示す。本方法は真正面からの撮影画像に変換してから解析を行うため、各マーカの解析条件を同じパラメータで解析できると、より信頼性の高い変位結果が得られるのがメリットである。本手法で得られた橋の中央部におけるたわみの結果と、従来のリング式変位計の結果と比較して、ほぼ同じ  $0.6 \text{ mm}$  の最大たわみを得られたことを確認している。これにより本開発手法である斜め方向からの画像撮影でも、健全性評価で必要とされるサブミリの変位計測を行えることを実橋で実証できた。

#### 4. まとめ

常磐自動車道で新設されたコンクリート橋を対象に、光学的変位計測法の1つであるサンプリングモアレ法を応用した斜め方向からの画像撮影による橋梁構造物の新しい変位計測法を開発した。橋梁の側面に規則模様の測定マーカを事前に設置さえすれば、橋の正対にカメラを置く代わりに設置容易な場所からデジタルカメラを用いて検査車両が通過前後の画像を撮影するだけで、簡便かつ高精度でサブミリの変位量を評価できる。本画像計測法は従来のリング式変位計で測定した変位量と同程度の変位測定精度で橋梁構造物の変位を測定できることを確認した。斜め方向からの画像撮影を行う本手法は、今後橋梁構造物の簡便かつ安価な計測手法として現場計測への適用が大いに期待できる。

#### 参考文献

- 1) Ri, S., Fujigaki, M., Morimoto, Y.: Sampling Moiré Method for Accurate Small Deformation Distribution Measurement, *Experimental Mechanics*, Vol.50, 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の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) 李志遠, 津田浩, 山田金喜, 成田朋憲, 早坂洋平, 小林勝, モアレ法を利用した橋軸方向からの撮影による橋梁のたわみ計測法の開発, 土木学会第71回年次学術講演会, CS7-030, pp.59-60, 2016.9



(a) 射影変換前の撮影画像 (b) 射影変換後の画像

図-2 斜め方向から検査車両通過中の撮影画像

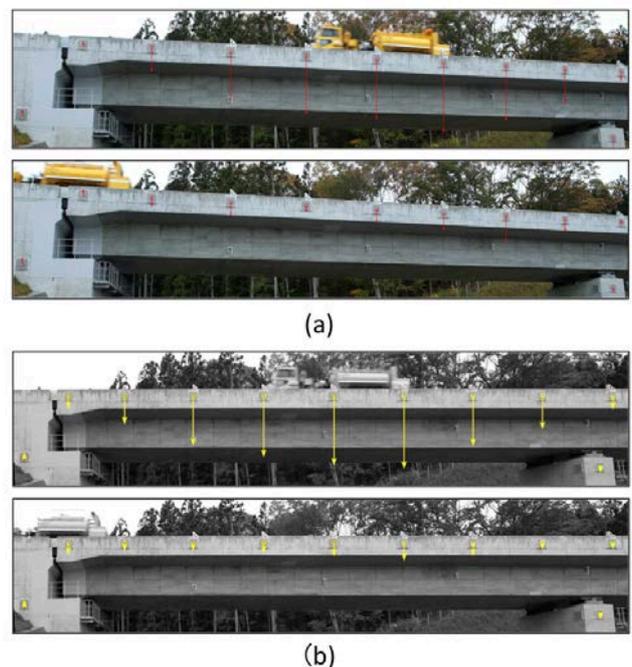


図-3 新設橋のたわみ計測の比較結果:  
(a) 射影変換なし, (b) 射影変換あり