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

(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)　正会員　山田　金喜　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　小林　勝

１．はじめに

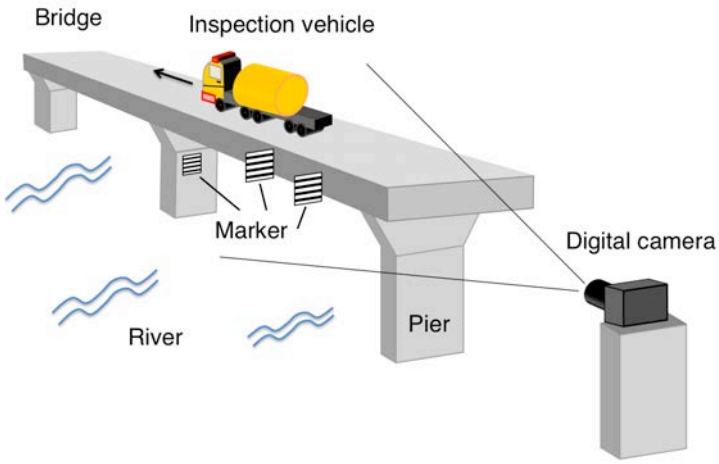
高速道路の橋梁延長 9,000 km のうち，約 4 割（3,700 km）が供用から 30 年以上経過するものである．特に東北地方の構造物は積雪寒冷地特有の凍結防止剤による塩害と長年の凍結融解の繰り返し作用から発生する凍害による複合劣化の進行が顕著であり，床版及び橋梁全体の剛性（耐荷力）の低下が懸念される橋梁が多数存在する．このような橋梁については，適切な維持管理のための現状把握と安全性確保のために補修・補強工事を適切な時期に実施する計画性の確保が重要となる．

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現状がある．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，カメラの設置場所が制限されにくい橋軸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 [1-3] を応用して，橋軸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** に開発した橋軸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，橋の中央部（1/2 点）及び固定点となる橋脚部に予め設置する．これを橋軸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撮影を撮影する．橋軸方向からの撮影のため，各測定マーカからカメラまでの距離の違いによっては画像上に写っている規則模様のピッチが異なることになる．そこでサンプリングモアレ法を用いて橋の中央部の測定マーカから得られた変位量から，固定点の測定マーカから得られる変位量に画像上での模様ピッチ比を乗じた変位量をカメラのぶれ量として補正することで高精度な変位計測を実現する．



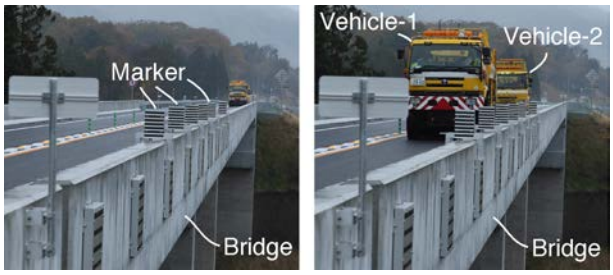
図－1　開発した橋軸方向からのデジタルカメラ撮影による変位計測の原理及び光学系

３．新設した常磐自動車道の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）の舘野橋（PRC 箱桁と PRC3 径間連続 2 主版桁橋）を対象に，画像計測によるたわみ計測実験を実施した．ここでは，橋梁の壁高欄に繰り返

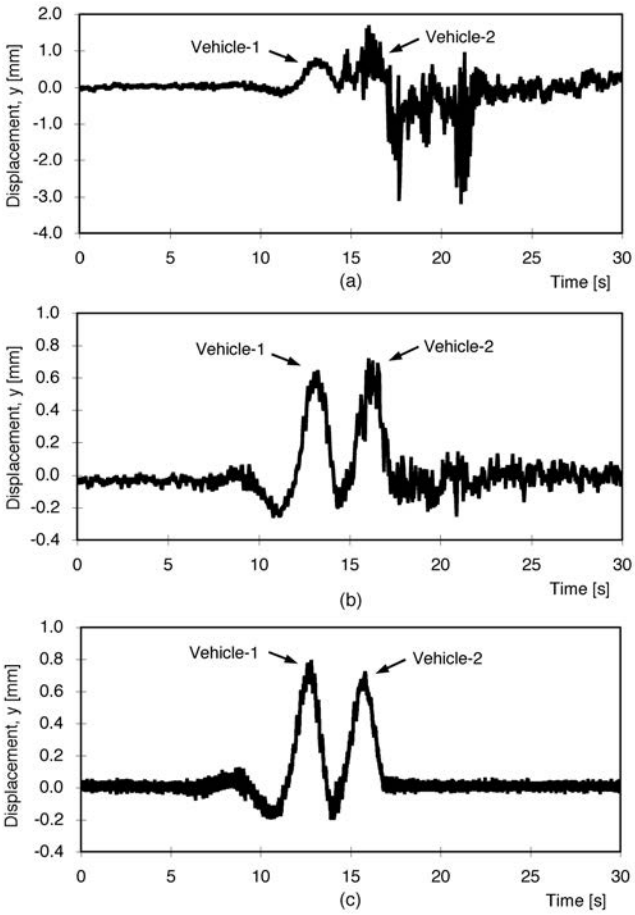
キーワード：たわみ計測，コンクリート橋，サンプリングモアレ法
連絡先：〒305-8568　茨城県つくば市梅園 1-1-1　中央第 2　TEL：029-849-1065

し規則模様がある測定マーカを数個設置した．その様子を**図－2** に示す．**図-2(a)** は検査車両である散水車２台（車両総重量が 21.97 トンと 19.95 トン）が通過する前に橋台部に設置したシネマカメラで撮影した変形前の画像であり，**図-2(b)** は散水車が 60 km/h の速度で橋の中央部を通過するときに同じ場所で撮影した変形後の画像である．本実験では散水車が橋梁を 60km/h の速度で橋を通過する最中に記録した 4K 動画（記録レートは 24fps）から得られた時系列でのたわみ結果を**図－3** に示す．**図－3(a)** は，従来のサンプリングモアレ法を用いて，単純に 1/2 点でのたわみに固定部の 1 点でのたわみをそのまま差し引いてカメラのぶれを補正した結果である．散水車１台目は正しいたわみが測定できたものの，１台目の散水車が通過することで発生した風圧によりカメラが揺れたため，大きな計測誤差が生じることを確認した．**図－3(b)** は，本開発手法により橋軸方向から撮影された各測定マーカのピッチの違いを考慮して，カメラのぶれを補正した結果である．１台目と２台目の散水車が通過時にともに妥当なたわみ量が得られた．**図－3(c)** は，同じ橋の下床版部（1/2 点）に取り付けたリング式変位計で得られたたわみ量であり，ほぼ同じオーダーのたわみ量が得られたことから，橋軸方向からの画像撮影による本開発手法は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確認できた．



(a) 検査車両が通過前　　(b) 検査車両が通過中

図－2　橋軸方向からの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

４．まとめ

常磐自動車道で新設された舘野橋を対象に，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橋軸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．橋梁の壁高欄やウェブ桁に規則模様の測定マーカを事前に設置さえすれば，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な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．橋軸方向からの画像撮影を行う本手法は，河川，山間部，渓谷などを通過する橋梁のたわみ計測にも応用できることから，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