民生用デジタルカメラを利用した簡易型非接触式たわみ測定器の実用化

株式会社ズームスケープ　正会員　○小野　徹
西日本旅客鉄道株式会社　正会員　近藤　健一
西日本旅客鉄道株式会社　正会員　坂本　保彦
アジア航測株式会社　内田　修

１．はじめに

鉄道橋のたわみ測定は、列車の走行性、構造物の健全性を確保するために重要な指標である。現状、接触型歪ゲージ式変位計などを用いて測定しているが、現地立ち入りの困難な河川橋、架道橋においては、測定が困難である。前年度著者ら[1)]は簡易に列車通過時の桁中央部のたわみを測定する方法として、デジタルカメラを利用した非接触式の橋梁たわみ測定手法を提案した。今回その実用化を進め、多くの実験を通し精度検証を行ったので報告する。

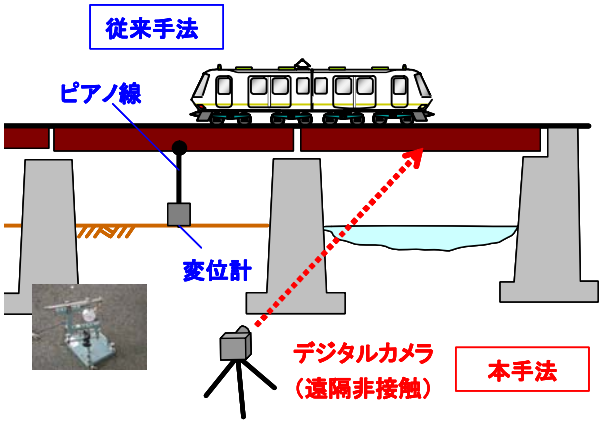
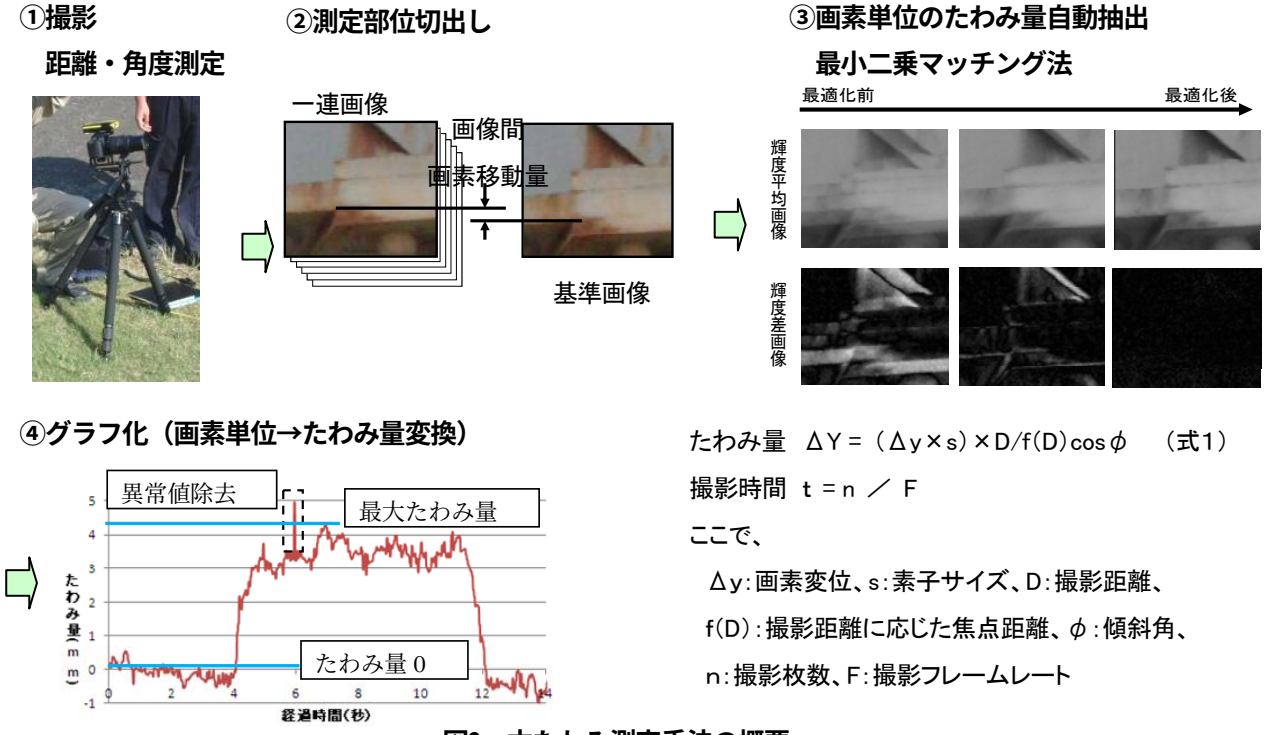


図１ 従来手法と本手法のイメージ図

２．デジタルカメラを利用したたわみ測定手法

本たわみ測定手法の概要を図 2 に示す。本手法はデジタルカメラにより橋梁の桁中央部を高倍率で動画撮影し、一連画像のフレーム間移動量を画像処理[2)]によって自動的にサブピクセルオーダーで求め[1)]、レーザー距離計により計測した撮影距離、傾斜角と、カメラ素子サイズ、焦点距離により式１を用いて実寸の変位量に変換する。撮影するカメラとレンズの組み合わせについてあらかじめ較正を行うことにより、フォーカス調整による焦点距離の変化の影響を取り除き[1)]高精度に実寸の変位量を計算する。



たわみ量　$\Delta Y = (\Delta y \times s) \times D / f(D) \cos\phi$　（式1）

撮影時間　$t = n / F$

ここで、

Δy：画素変位、s：素子サイズ、D：撮影距離、

$f(D)$：撮影距離に応じた焦点距離、ϕ：傾斜角、

n：撮影枚数、F：撮影フレームレート

図2　本たわみ測定手法の概要

キーワード：画像処理・橋梁・たわみ・デジタルカメラ・最小二乗マッチング
連　絡　先：〒520-0241 滋賀県大津市今堅田 2-36-2　2F　電話 077-514-8191・FAX　077-514-8192

３．測定例と精度検証

本手法により、鋼橋やコンクリート橋など多数の橋梁に対し、撮影距離や計測時季（夏・冬）計測時刻(午前・午後・夜)などの条件を変えて試験を行った。同時に検証のため桁下からレーザーを用いた既往システムによる測定も行った。

以下に測定結果を紹介する。図 3 は測定橋梁（3 径間連続ＰＣ箱桁橋）の一例と撮影機材である。本橋梁を 30m離れた位置から測定した結果(最大たわみ量 2.8㎜)を図 4 に示す。測定所要時間は、撮影機材の組立て・設置 15 分、撮影時間 1 分＋列車待ち時間、パソコンへのデータ移動・準備 5 分、解析時間 1 分程度であった。

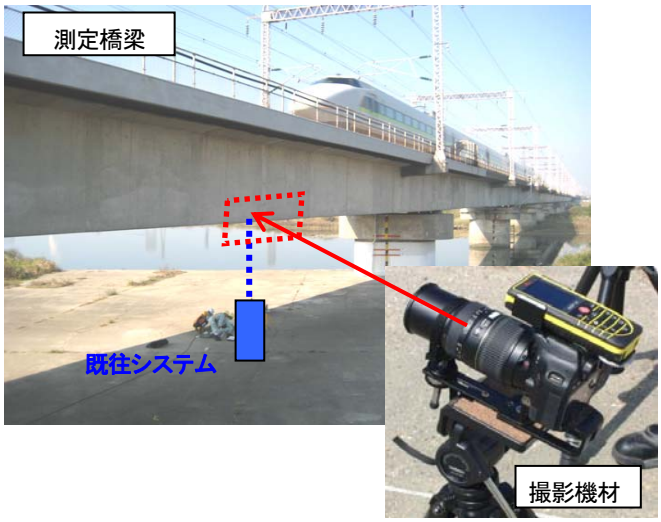


図 3　対象橋梁と撮影機材

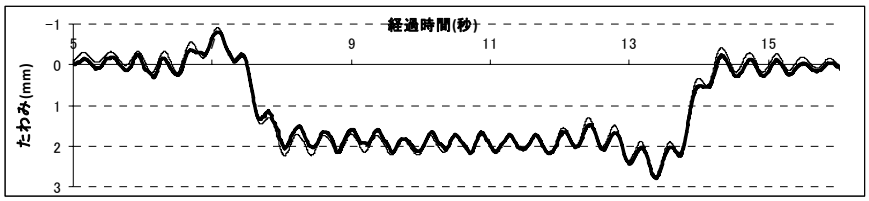


図 4 たわみ測定結果の一例（太線本手法，細線既往システム）

カメラ	キヤノン EOS Kiss X4
レンズ	タムロン AF70-300mm F/4-5.6 Di
設定	動画クロップ 60fps 焦点距離 300mm

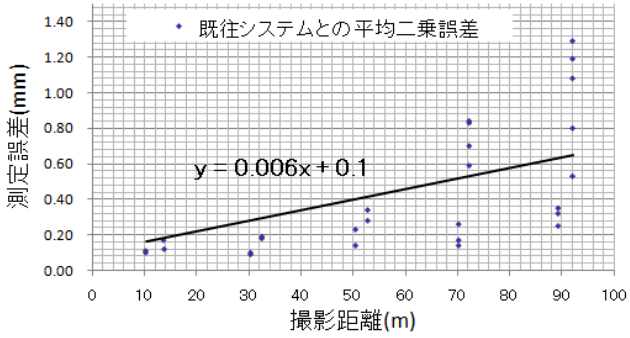


図 5 撮影距離と測定誤差の関係（夏場以外昼）

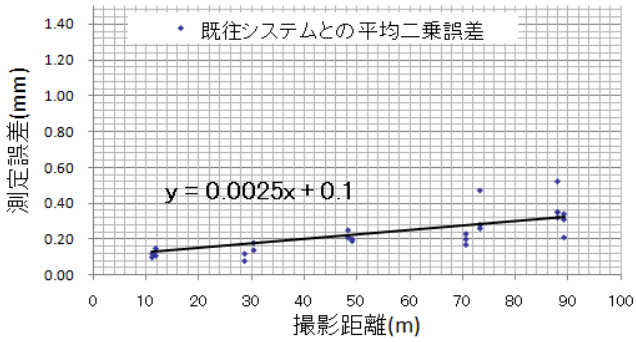


図 6 撮影距離と測定誤差の関係（夜）

図 5 は、夏場以外の昼に測定したデータを用いて、撮影距離と測定誤差（既往システムとのたわみ差から平均二乗誤差を算出）の関係を整理したものである。撮影距離が長くなると測定精度が大きく劣化することが分かる。この主な原因は大気揺らぎである。大気揺らぎは撮影距離の約 1.5 乗に比例する誤差をもたらす。一方、夜間に同様な測定を行った結果を図 6 に示すが、大気揺らぎの少ない夜間は誤差も小さく抑えられており、撮影距離に対する非線形な誤差もほとんどみられない。

４．まとめ

本手法により、環境条件により距離の制約はあるものの、1mm 以下の精度で、橋梁のたわみ量を非接触で簡易に測定可能であることが分かった。また、平成２３年度より、現場への実用化を行った。

【参考文献】

1) 坂本保彦, 近藤健一, 織田和夫, 内田修, 小野徹：デジタルカメラ画像を利用した簡易型非接触式たわみ量算出方法, 土木学会第 65 回年次学術講演会概要集, 第 I 部門, I-258, 2010

2) 織田和夫，近藤剛，尾幡昌芳，土居原健： LM 法による画像の自動モザイク，写真測量とリモートセンシング，vol.37，no.3，pp.42-51，1998.