

デジタルカメラを用いた非接触式たわみ測定手法の開発

近藤 健一* 坂本 保彦 (西日本旅客鉄道)

内田 修 織田 和夫 (アジア航測)

小野 徹 (ズームスケープ)

Development of a non-contact method for the deflection measurement with digital camera

Ken-ichi KONDO*, Yasuhiko SAKAMOTO (West Japan Railway Company)

Osamu UTIDA, Kazuo ODA (Asia Air Survey Co., Ltd.)

Tetsu ONO (Zoomscape Inc.)

The amount of the deflection in the bridge is a key indicator of the running safety of trains and the health of the structure. It is currently measured with a contact-type deflection sensor. However, it is difficult to measure the river bridge and the over-bridge on restricted areas with the contact-type equipment. For the purpose of the solution of the problem, authors have been developing the non-contact method for remotely measuring the amount of the deflection in the bridge beam by using a household digital camera. This paper introduces the method of calculating the deflection volume from the photographic image, and presents experiments with the proposed method.

キーワード：橋梁、維持管理、非接触、たわみ計測、デジタルカメラ、画像処理、最小二乗マッチング

(Keywords: Bridge, maintenance, non-contact, measures deflection, digital camera, image processing, least squares matching)

1. はじめに

鉄道橋のたわみ量は、列車の走行安全性、乗り心地、構造物の健全性を確保するための指標として重要である。

現状、橋梁のたわみ量の測定は、接触型歪ゲージ式変位計などを用いて行う場合が多いが、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。また、レーザー方式による測定の場合も、高精度に測定するにはターゲットを貼り付けるので、接触型と同様の問題が生じる。

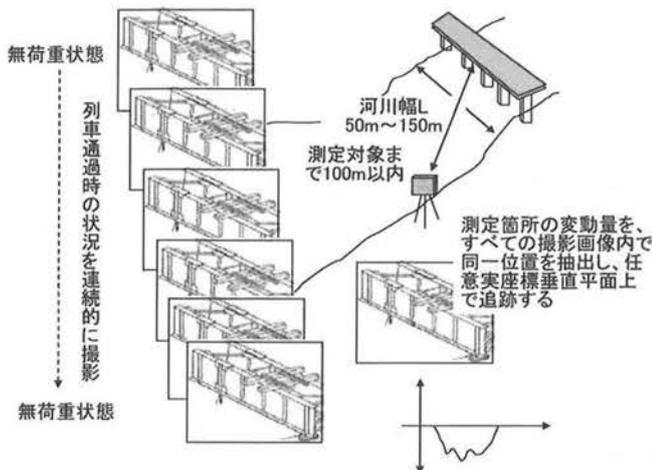


図-1 デジタルカメラによる非接触式たわみ測定

本論では、手軽にたわみを測定する方法として、民生用のデジタルカメラを利用する非接触の橋梁たわみ測定を提案する。本手法は橋梁を高倍率で連続的に撮影した一連画像のフレーム間移動量を画像処理によって自動的にサブピクセルオーダーで求め、レーザー計測された撮影距離と焦点距離に基づ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校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高精度に実寸の変位量を計算するものである。

以下では、移動量を画像から自動的に算出する最小二乗マッチング手法、およびそれを実寸のたわみ量に変換する手法とその際に必要なカメラの校正方法について述べ、最後に実際の測定事例を紹介する。

2. 最小二乗マッチングによる画素移動量算出

画像のフレーム間移動量をサブピクセル単位で求める手法として最小二乗マッチングを適用した。最小二乗マッチングは、基準画像ともう一方の画像の間の移動パラメータ（アフィン変換・平行移動などの変換係数）を、移動後の輝度差の二乗和が最小になるという条件の下で最適化する^[1]。変換方法を平行移動とする場合は、縦方向の移動量 Δy_{pix} および横方向の移動量 Δx_{pix} を最適化する。

最小二乗マッチングでは特定のパターンは必要とせず、

橋梁上の汚れやリベットなどのテクスチャがあればマッチングを行うことができる。

本手法では、対象を高倍率で撮影するため、たわみによる移動は画像内でほぼ均一になる。そこでマッチングを行う領域を一般のテンプレートより大きくとる(100 画素×100 画素程度またはそれ以上)ことにより、局所的なノイズに左右されにくいマッチングを行うことができる。

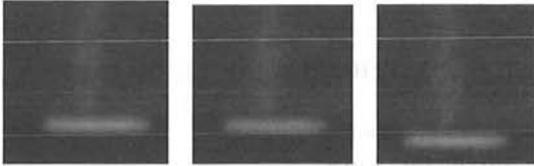


図-2 0.1 画素単位で移動したテスト画像の例

実際の橋梁写真を 0.1 画素単位で移動させて作成したシミュレーション画像を作製し、これらをマッチングさせ、真値との比較を行った。その結果、計算値の RMS は X 方向・Y 方向とも 0.01 ピクセル程度に収まった。

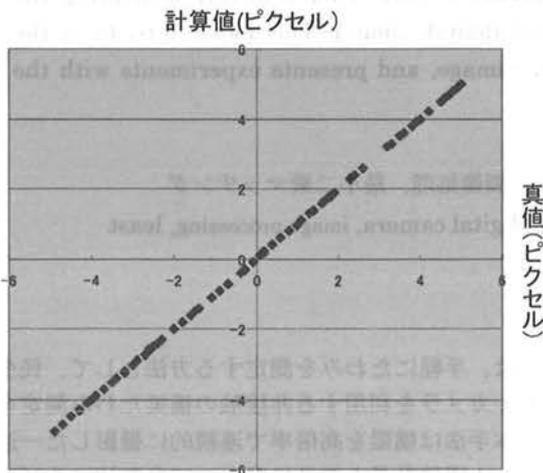


図-3 最小二乗マッチングの精度検証テスト結果

3. 画素移動量から実寸たわみ量への変換

上記で計算された移動量は画素単位なので、以下の式により画像上の鉛直方向の画素移動量 Δy_{pix} をたわみ量 ΔY に変換する必要がある。

$$\Delta Y = \Delta y_{pix} \times s \times D / f \cos \phi$$

ここで D はカメラから対象までの撮影距離、 ϕ は撮影時の傾斜角、 s はセンサ素子サイズ、 f は焦点距離である。撮影距離(D)と傾斜角(ϕ)は撮影時にハンディ型レーザー距離計等を用いて測定すればよい。より厳密には、ピントを合わ

せることによる焦点距離の変化を考慮する必要がある。使用する撮影機材であらかじめ撮影距離 D と焦点距離 f との関係 $f(D)$ を実験的に測定することによって、以下の式で移動量を求めることができる。

$$\Delta Y = \Delta y_{pix} \times s \times D / f(D) \cos \phi$$

図-4 に、実際に測定した撮影距離と焦点距離の関係の例を示す。

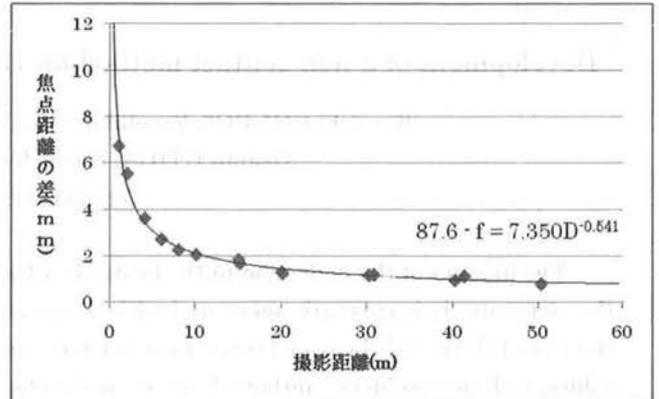


図-4 撮影距離と焦点距離の関係 (EXLIM EX-F1, 縦軸は補正量)

4. 実際の測定事例

実際の橋梁に対し撮影を行い、正しくたわみが測定できるかどうかを確認した。比較用にレーザー式の既往システムにおいても同時に測定を行った。

代表的な測定例を図-5 に示す。撮影した橋梁は、鋼単純桁で支間 22.25m であり、撮影距離 31.0m、傾斜角 9.0 度であった。使用機材を表-1 に示す。

この事例においては最大たわみ量はレーザーを用いた既往システムで 5.08mm、本手法で 4.98mm とよい一致を示した。

表-1 使用機材

カメラ	EXILIM EX-F1 最望遠側 (f=87.6mm) フル HD 動画(1920×1080 60fps)
三脚	ベルボン・カルマーニュー G5300 II
距離計	レーザー距離計ライカ DISTO D8

参考文献

- [1] 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.

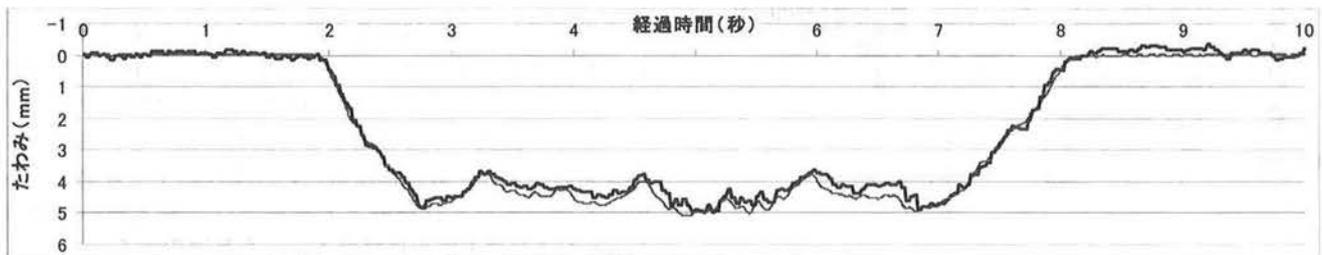


図-5 たわみ量計測結果 (太線: デジタルカメラによる計測結果、細線: 既往システムによる計測結果)