

### デジタルカメラ画像による簡易型非接触式たわみ量算出方法

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

#### 1. はじめに

桁のたわみ測定は、列車の走行性、構造物の健全性を検討する指標として重要である。現状では、接触型歪ゲージ式変位計などを用いているが、現地立ち入りの困難な河川橋、跨道橋においては、設置が困難である。また、非接触型の桁のたわみ測定法として、レーザー式などがあるが、距離が数十メートルを超える場合反射ターゲットが必要であること、システム価格が高価なことなどの問題点がある。

本研究は、橋梁部に測定機器もしくはその補助装置を設置することなく、市販のデジタルカメラで撮影された画像のみから桁たわみ測定を行なうことができる、簡易な非接触式たわみ測定手法の開発を目的とする。本報告では、デジタルカメラ画像を利用したたわみ算出方法の検討結果と、計測事例について述べる。

#### 2. デジタルカメラ画像を利用したたわみ算出方法

地面等に設置したカメラで橋梁の測定部位を連続的に写真撮影すると、列車通過時に橋梁桁の上下方向の移動量としてデジタル画像に記録される。すなわち、列車通過前の基準画像と列車通過中の一連の画像間でどれだけ桁が上下に移動したかを測定すれば、たわみ量を測定できる。

ここにおいて、次の2つの手順が重要である。

- ・ 画像間移動量の自動算出方法
- ・ 画素単位から実寸への移動量変換方法

##### (1) 画像間移動量の自動算出方法

本技術では一回の測定で数十枚～数百枚の画像の移動量を計算する必要があり、実用的に運用するためには、画像間移動量を自動的に算出することが不可欠である。また、計測分解能を向上するためには、移動量をサブピクセル単位で効率よく計測する必要がある。以上を実現するための画像処理方法として、最小二乗マッチングアルゴリズムを適用した。

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ものである<sup>1)</sup>。例えば変換方法を平行移動とした場合には、縦方向の移動量  $\Delta y_{pix}$  および横方向の移動量  $\Delta x_{pix}$  を最適化する。

シミュレーション画像を用いた実験を行った結果、最小二乗法による移動量計測精度は0.1ピクセル以下

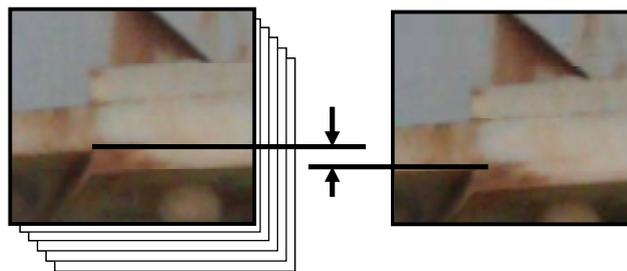


図1 基準画像(右)と一連の画像との比較によるたわみ量測定

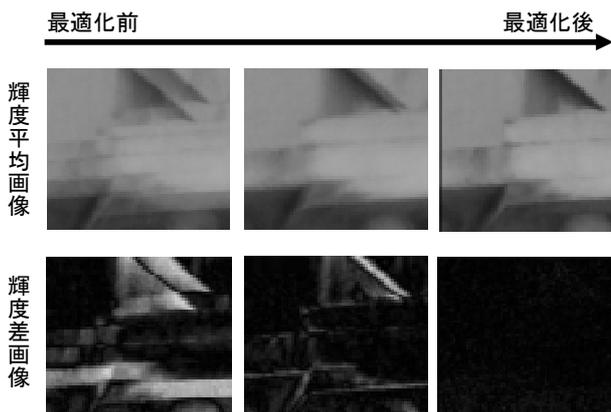


図2 最小二乗マッチングの過程

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：〒530-8341 大阪府大阪市北区芝田 2-4-24 TEL: 06-6376-8136 FAX: 06-6376-6154

であり、本計測手法に十分適用できることが確認できた。

(2) 画素移動量から実寸たわみ量への移動量変換方法

画像上の鉛直方向の画素移動量  $\Delta y_{pix}$  をたわみ量  $\Delta Y$  に変換するには次の式を用いる。

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

ここで  $D$  はカメラから対象までの撮影距離、 $\phi$  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。距離 ( $D$ ) と傾斜角 ( $\phi$ ) は計測時にハンディ型レーザー距離計等で計測しておく。

実際には、レンズの焦点距離を固定してもピントを合わせることによって焦点距離の補正が必要である。そこで撮影機材 (カメラとレンズの組み合わせ) について、あらかじめ撮影距離と焦点距離との関係 ( $f=f(D)$ ) を実験的に求めておく。この焦点距離を適用すると、上の式は以下ようになる。

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

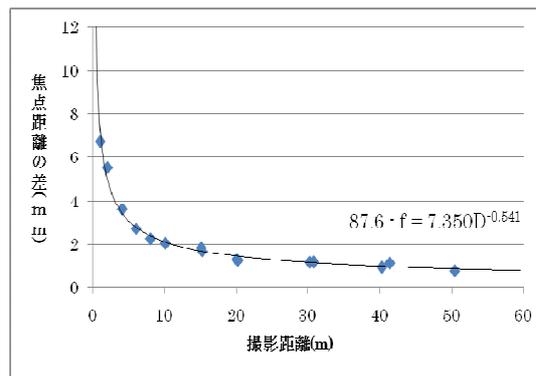


図3 撮影距離と焦点距離の関係 (縦軸は補正量)

3. 計測の実例

実際のカメラで多数の橋梁に対し実験を行い、成果を確認した。同時に比較用にレーザーを用いた既往システムにおいても計測を行った。

下に代表的な実験例を示す。使用したカメラはカシオ EXILIM EX-F1 で、フル HD 動画 (1920×1080 60fps) かつ最望遠側 ( $f=87.6\text{mm}$ ) で撮影した。三脚はベルボン・カルマーニュ G5300 II を利用した。距離および傾斜角は傾斜計付きレーザー距離計ライカ DISTO D8 を使用した。撮影距離 31.0m、傾斜角 9.0 度であった。撮影した橋脚は、鋼単純桁で支間 22.25m である。推定された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 であった。

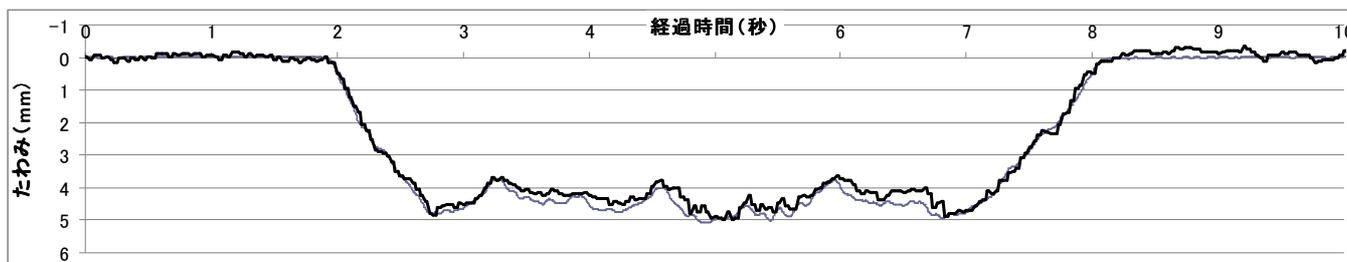


図4 たわみ量計測結果 (太線：デジタルカメラによる計測結果、細線：既往システムによる計測結果)

4. 今後の課題

本手法は簡易にたわみ量を計測できるが、撮影距離が長い場合や機材本体に振動がある場合に計測精度が劣化することが問題である。実用化に向けて、以下の点が課題である。

- ・カメラやレンズの振動の影響評価と対策方法
- ・必要精度な精度に応じた撮影機材のスペックの整理
- ・他手法との測定値の比較実験と計測精度の評価

【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.