

ターゲットを用いない動画分析による橋梁の動的挙動把握の試み

東京工業大学 正会員 ○阿久津 絢子
 東京工業大学 非会員 佐々木 英亮
 東京工業大学 正会員 佐々木 栄一

1. はじめに

橋梁の維持管理やモニタリングとして振動計測による固有振動数や振動モード等の振動特性の把握が行われる¹⁾。振動計測は、加速度センサ等のセンサを直接橋梁に設置して行われることが多く、計測精度は高いものの、測定対象に直接接するように設置する必要があり、高所作業や交通規制が必要となる場合もある。

近年、非接触で遠距離から適用可能な画像や動画を用いた計測²⁾が着目されてきている。作業員の安全確保が容易であり、センサの設置等に要する時間の短縮、一度の計測による複数個所の情報取得の可能性を有している方法である。本研究では特に画像解析による物体の移動量取得に着眼し、計測対象にマーカー等のターゲットを設けることなく汎用カメラにより撮影された動画から、動的挙動として橋梁の変位応答や周波数、変形形状等の振動特性把握の可能性について検討を試みた。特に本研究では計算コストや屋外環境での撮影を考慮し、計算が簡易的で高速であり、画像の輝度に影響されにくい位相限定相関法を応用することとした。本稿では提案するターゲットを用いない動画分析による橋梁の動的挙動把握方法の概要を示し、実験室実験と実橋梁計測の結果から適用性について検討を行う。

2. 動画分析による橋梁の動的挙動把握方法の概要

本研究では橋梁の変位や振動等を取得するため、静止画に適用される位相限定相関法を汎用カメラにより取得した動画画像処理に適用する方法について検討を行った。連写画像の適用も考えられたが、変位の時刻歴変化の取得や周波数解析にはサンプリング周波数が重要であることから本研究では動画による計測を試みた。

図-1 にフロー図を示す位相限定相関法は、指紋認証や顔認証等の画像マッチング処理に用いられる方法である。位置ずれが生じた2枚の画像に対して2次元離散フーリエ変換し、得られた2次元周波数スペクトルを振幅スペクトルで正規化することにより位相情報のみを残した画像を取得する。そして2枚の位相画像の相関ピークの位置から2画像間の位置ずれを算出する。

振幅画像は輪郭情報、振幅スペクトルは輝度情報を有しているため、輝度情報を除去することで輪郭が強調され、屋外撮影における日射や影の影響等を低減することが可能である。提案する分析手法では、動画の任意のフレームを1フレーム目とし、1フレーム目とそこから連続した各フレーム間において分析領域を選択し、位相限定相関法により時刻歴の移動量を求める。

3. 動画分析による橋梁の動的挙動把握の実験的検討

ここでは提案手法の適用性を確認するため、振動試験機と鋼板を用いた実験および実橋梁での適用実験について示す。使用したカメラはSONY製の35mmフルサイズCMOSセンサを有するデジタル一眼カメラ、レンズは焦点距離60mmのものを使用し、動画撮影は4K30pとした。本手法では、画像の位置ずれ量はpixel値として取得しているため、カメラと計測対象との距離、焦点距離、センササイズ等から撮影画像の画角を算出し、撮影画像サイズから1pixel辺りのサイズを算出することで実スケールに換算している。また、サブピクセル解析を適用することで極微小な位置ずれにも適用することが可能である。

(1) 鋼橋表面モデルを用いた振動実験

図-2 に振動実験の様子を示す。鋼橋表面モデルは、鋼橋表面を模擬した2種類の鋼板を用いて作成した。振動試験機には複数周波数の波を合成して作成した信号を入力し、試験機から得られた変位を真値として本手法により動画から得られた変位および振動数と比較することで精度検証を行った。本実験でのカメラと鋼板表面モデルとの距離は約1.8mである。

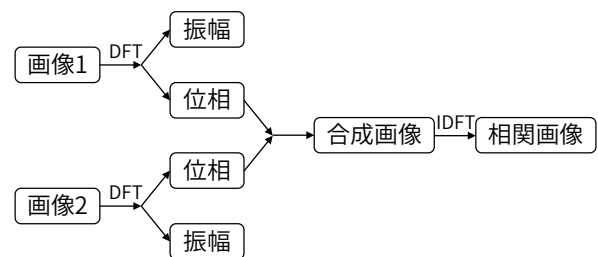


図-1 位相限定相関法のフロー図

キーワード 動画, 橋梁変位, 振動特性, 動的挙動, 位相画像

連絡先 〒152-8552 東京都目黒区大岡山 2-12-1 緑ヶ丘 1 号館 TEL03-5734-3478

図-3 に試験機と動画から得られた変位の時刻歴グラフを示す。試験機から得られた変位を黒色実線で示し、提案手法により動画から得られた変位を橙色点線で示す。両波形は良い一致を示していることがグラフから確認できる。また、得られた変位波形から周波数分析を行い、周波数に関しても良い一致が確認された。なお、グラフでは鋼橋表面モデルの腐食部分（図-2 における赤枠部分）を分析領域としたが、別の鋼板部分や他の領域においても同様の精度であることを確認している。

(2) コンクリート橋での適用実験

対象橋梁は神奈川県のパイパスにある RC 桁である。車両が通行する際の橋梁の動的挙動をカメラで撮影した。また、三脚を用いてレーザー変位計を桁下付近に設置し、手前側の桁変位を同時に計測した。図-4 に撮影した動画および通過車両を示し、分析領域を赤枠で示す。本実験では、計測対象部とカメラの距離は約 7.5m である。図-5 に変位の時刻歴グラフおよび周波数パワースペクトルグラフを示す。グラフより、車両通過時の橋梁のたわみの形状および卓越周波数は確認することができる。一方で、前項で示した試験機による実験と比べ、最大変位が実際よりも小さく出る傾向がみられた。計測地が海沿いであったことから風によるカメラ側の振動の影響やカメラと対象との距離が延び、画面上において 1 pixel 以下の極微小な変化となったことによる影響が考えられる。本研究では焦点距離 60mm のレンズを使用した。より望遠のレンズを使用することにより撮影画角は狭まるものの高精度に変位等を取得できる可能性が考えられる。

本手法は分析領域を複数設けることにより、振動やたわみの形状を取得可能であり、動画として可視化することが可能である利点を有する。

4. まとめ

本研究では、計測対象にマーカー等のターゲットを設けることなく汎用カメラによる撮影動画のみで橋梁の動的挙動の分析方法について検討を行った。画像の輝度情報に影響されにくい位相限定相関法を応用した方法により、変位や振動数、変形形状等の動的挙動を把握可能であることを、試験機を用いた実験および実橋梁での適用実験から確認した。また、鋼材やコンクリート等、材質によらず適用可能である。現状の方法では振動振幅と解像度の関係から振幅が 1 pixel 以下である場合に実変位よりも過小評価される傾向にあるため、そ

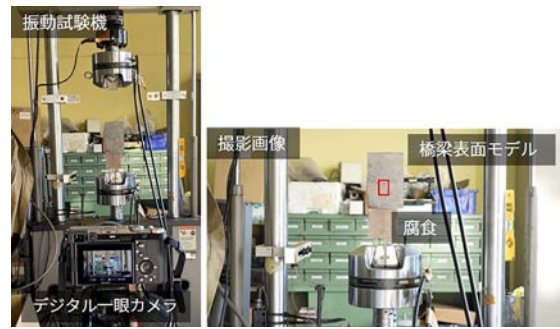


図-2 振動実験の様子

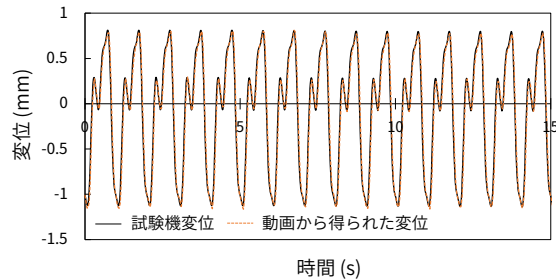


図-3 計測変位

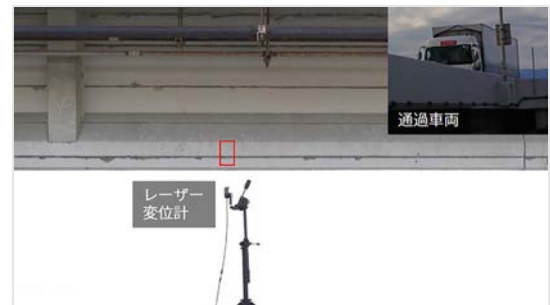


図-4 撮影画像および通過車両

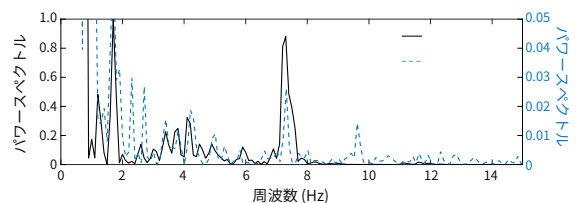
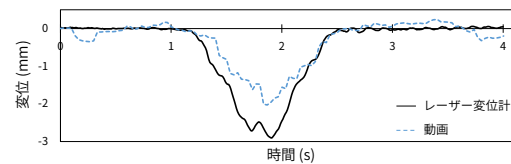


図-5 計測変位および周波数パワースペクトル

の補正方法について今後検討していく予定である。

参考文献

- 1) 安田大樹, 山口宏樹; ERA を用いた構造物のモード特性同定とその部分構造同定への応用; 土木学会第 57 回年次学術講演会, p.1139-1140, 2002.
- 2) 出水享, 坂井達志, 松田浩, 森田千尋, 伊藤幸広; デジタル画像相関法による動的変位計測に関する基礎的研究; 鋼構造年次論文報告集, vol.19, p.671-676, 2011.