

令和 5 年 6 月 6 日現在

機関番号：14301

研究種目：研究活動スタート支援

研究期間：2021～2022

課題番号：21K20448

研究課題名（和文）撮像装置を用いた橋梁の異常検知技術の開発

研究課題名（英文）anomaly detection of bridge by use of image devices

研究代表者

河邊 大剛（kawabe, daigo）

京都大学・地球環境学堂・研究員

研究者番号：30907522

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 2,100,000円

研究成果の概要（和文）：本研究の目的は、撮像装置によって取得された構造物の動画データを振動情報に変換し、振動特性の変化から構造物の異常を検知することである。動画の画角内から対象となる構造物を抽出し、振動情報に変換する手法の構築と異常検知について検討を行った。動画内の物体追跡は、コーナー検出法によって取得された対象物の複数の特徴点を、オプティカルフローの一種であるKLT（Kanade-Lucas-Tomasi）Trackerを用いることで概ね正確な物体の動きが変位波形として得られた。本波形を用いて損傷導入前後の固有振動数推定値の変化を検証した結果、加速度センサで計測された固有振動数の変化と同等の変化が確認できた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

動画情報から構造物の異常を検出する手法は研究が進められてきたが、対象物にマーキングを必要としない手間を要さない手法は限られる。また構造物の損傷による動的応答の変化は比較的小さいため、それらを動画情報から検知することは容易ではなく、成果の学術的意義は大きい。また、少子高齢化と社会インフラの劣化が社会課題となる中、人的労力を要さず、かつ経済性に富む異常検知手法を構築することは社会的意義が大きい。

研究成果の概要（英文）：This study aims to detect an anomalous of structure by use of changing in modal parameters obtained from video footage. Extracting dynamic motion of the target structure within the angle of view of the video and converting it to the modal information were considered. This study achieved to obtain the motion of the structure accurately as displacement waves by use of KLT (Kanade-Lucas Tomasi) Tracker that is one of the Optical Flow method. Furthermore, the results of verifying the change in the estimated natural frequency before and after the introduction of damage using this waveform showed that the change was equivalent to the change in the natural frequency measured by high performance accelerometers.

研究分野：維持管理工学

キーワード：構造ヘルスマニタリング 維持管理 画像処理 異常検知 振動 柱状構造物

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属します。

### 1. 研究開始当初の背景

橋梁の老朽化が進む中、安全かつ安定的運用を担保するため、定量的なデータに基づく異常検知手法の構築が求められている。特に技術者不足が深刻な自治体では、より経済性に優れた橋梁の異常検知手法の開発が喫緊の課題である。そこで、センサ等計測機器を用いて橋梁の状態を観測し、その変化から構造物の異常を発見する異常検知手法の検討が進められている。特に、落橋に至る恐れのある重大な損傷をセンシング情報から早期に発見する方法の検討が進められてきた。このような技術の多くは、橋梁本体に直接センサ等を設置して運用することで状態のモニタリングを行う。しかしながら、センサ機器や設置・運用コストを考えると、適用可能な橋梁規模が限定されてしまう。以上のように、特に地方自治体において、橋梁維持管理の人的・経済的な制約がある中で、より簡便かつ経済性に富む橋梁の異常検知手法の確立が研究開始の背景である。

### 2. 研究の目的

本研究は、橋梁全体を撮影した動画データを用いた異常検知手法の構築に着目する。特に市販の撮像装置を用いることで、経済的かつだれでも計測が可能な観測情報として本研究で利用する。構造物の損傷による状態変化は構造物の振動特性の変化として現れることが知られており、振動特性を異常検知に活用する事例がある。そこで、構造物全体系の振動特性の変化を撮影した動画から抽出し、その振動特性の変化が捉えられることができるかどうかの検証を本研究の目的とする。

### 3. 研究の方法

一般的に構造物は加振力がなければ振動は微小であり、振動モードの抽出は容易ではない。そこで、動画内を異常検知に利用するためには、微小な振動を動画処理によって増幅させ、抽出可能な処理を実施する必要がある。そこで本研究では、動画情報から対象物の微小な振動を増幅させる Eulerian Video Magnification 法 (オイラー画像拡大法) の改良手法である Phase-Based Video Processing 法 (位相差画像処理法)<sup>1)</sup> を画像処理過程に適用することで、**振動特性の可視化と相対変位の抽出を試みる (1)**。さらに、**対象とする構造物に疑似損傷を与え、振動特性の変化の抽出を試みる (2)**。

なお、研究開始後の各種データ取得の過程で、橋梁撮影動画内に映り込む、橋梁通過車両や、映り込む樹木の揺らぎが、動画処理過程の中で、ノイズとして増幅されることがわかった。そこで、実験室内に敷設された実物大標識柱を用いて検討を行った。

### 4. 研究成果

#### (1) 振動特性の可視化と相対変位の抽出

市販のミラーレスカメラ (SONY RX 10 IV) を使用する。カメラ設置位置を標識柱主鋼管から 9m とし、三脚を用いて定点撮影を行う。ナイキスト周波数を考慮してカメラのフレームレートを 120fps に設定し、画角 1920 × 1080 で約 10 秒間対象構造物を撮影した。なお、構造物の固有振動数とモード形状は複数箇所を設置した 3 軸加速度センサから同定された値を真値として用いた。撮影動画に位相差画像処理法を適用した結果、構造物の 1 次曲げ振動モードの可視化に成功した。

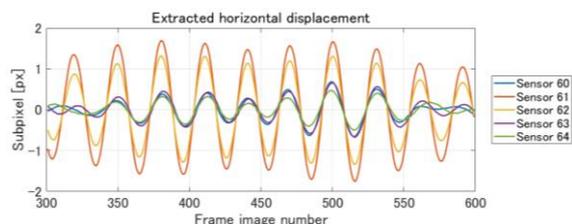
しかしながら、12.3Hz で卓越する先端梁曲げモードと 31Hz で卓越する 2 次曲げモードの可視化には至らなかった。動画を 30fps で再生する場合、120fps で撮影された動画は 4 倍スローモーションとなる。本研究では曲げ 1 次モードが約 4Hz の標識柱を 120fps で撮影しているので、動画を 30fps で再生する際には 1Hz の振動として表示される。一方で曲げ 2 次モードは約 30Hz であり、動画再生時には 7.5Hz の振動として表示されるため、振幅が最大となる画像は 2 フレームごとに得られる。そのため振動を可視化させるための 1 秒あたりのフレーム数が少ないと考えられ、高フレームレートで動画を撮影することにより曲げ 2 次モードが可視化される可能性がある。しかしながら撮像装置の要求性能も同時に高くなるため、検知する損傷に対して、損傷感度の高い振動モードを適切に設定することが必要である。

以上を踏まえて、1 次曲げ振動モードの相対変位の抽出を行った。相対変位の抽出は、加速度センサが設置されている領域付近に着目し、領域内の特徴的な点の検出並びに追跡によって特

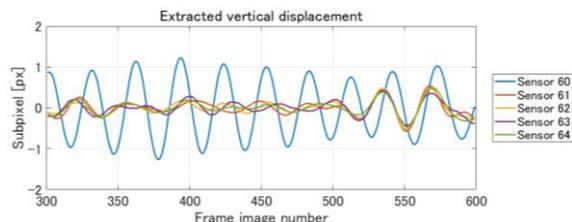


図-1 対象とする構造物

微点の軌跡を検出することとした。本研究では特徴点検出手法としてコーナー検出法の一つである領域の勾配行列の最小固有値を算出する手法を用いる。特徴点の追跡にはオプティカルフローの一種である KLT (Kanade-Lucas-Tomasi) Tracker<sup>2,3)</sup>を用いた。その結果を図-2に示す。縦軸がサブピクセル値、横軸がフレーム番号を表す。図-8 (a)より y 軸方向 (水平方向) の変位量は、主鋼管頭頂部のセンサ 61 の位置が最も大きく、低いセンサ位置ほど小さいことがわかる。また図-8 (b) より x 軸方向 (鉛直方向) の振幅は先端梁先端部に設置されたセンサ 60 の位置の振幅が最も大きいものに対して、主鋼管の振幅値は小さいことがわかる。このことから拡大法によって曲げ 1 次モードが強調された動画から、特徴点抽出手法とトラッキング手法を用いて振動波形が抽出されているといえる。なお振動波形の周期から、構造物の健全時の固有振動数を推定した。



a) 抽出された水平方向の変位波形



b) 抽出された鉛直方向の変位波形

図-2 位相画像処理法適用後の動画から抽出された変位波形

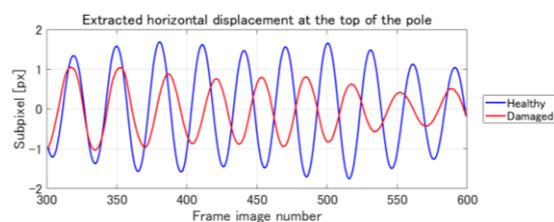


図-3 健全時 1 回目と損傷時 1 回目の主鋼管頭頂部の抽出された水平変位波形の比較

## (2) 固有振動数の変化の検出

対象標識柱の基部アンカーボルト 4 本の内、1 本を完全に緩解させた状態で動画撮影を行い、固有振動数の変化を上記手法から検出できるか検討を行った。その結果を、表-1 に示す。加速度センサから推定される固有振動数推定値に対して、健全時と損傷時ともに動画から抽出された固有振動数はいずれも高く推定された。理由として各領域の特徴点群の平均値を変位波形として検討を行っていることから、特徴点の異常な軌跡が含まれる可能性が挙げられる。そのため、検出される特徴点を精査することで推定精度が改善される可能性がある。

一方で健全時と損傷時の推定結果を比較すると、全ての動画において損傷時の固有振動数推定値は健全時より低下していることがわかる。参考に健全時と損傷時の主鋼管頭頂部の振動波形を図-3 に示す。青線と赤線はそれぞれ健全時 1 回目と損傷時 1 回目計測時の結果を表し、損傷時の周期が長いことがわかる。すなわち固有振動数が低下していることが確認できる。このことから、撮影動画に拡大法適用後、振動を抽出し固有振動数を推定することで標識柱の異常検知が行える可能性がある。ただし、健全時損傷時ともにサンプル数が少ないため、サンプル母数を増やし、推定値のばらつき程度を今後検証する必要がある。

表-1 健全時(INT)と異常時(Damaged)の拡大法適用後の動画から抽出された固有振動数推定値

	1 <sup>st</sup> recording	2 <sup>nd</sup> recording	3 <sup>rd</sup> recording	Estimated by accelerometer
INT	4.0 Hz	4.0 Hz	/	3.9 Hz
Damaged	3.6 Hz	3.6 Hz		3.6 Hz

## 【参考文献】

- 1) N. Wadhwa, M. Rubinstein, F. Durand, W.T. Freeman: Phase-based Video Motion Processing, *ACM Transactions on Graphics*, Vol. 32, No. 4, Article No.80, 2013.
- 2) Lucas, B. D., Kanade, T.: An iterative image registration technique with an application to stereo vision, *Proceedings of the 7th International Joint Conference on Artificial Intelligence*, pp. 674-679, April, 1981.
- 3) Tomasi, C., Kanade, T.: Detection and tracking of point features, *Computer Science Department, Carnegie Mellon University*, 1991.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計1件（うち査読付論文 1件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 河邊 大剛、横山 拓海、金 哲佑	4. 巻 3
2. 論文標題 動画情報を用いた道路柱状構造物の固有振動数の推定と異常検知の可能性	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 AI・データサイエンス論文集	6. 最初と最後の頁 315 ~ 325
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.11532/jsceiii.3.J2_315	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

〔学会発表〕 計2件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 2件）

1. 発表者名 Daigo Kawabe
2. 発表標題 Fundamental Study on Extracting Vibration of Pole Structure from Vehicle Footage
3. 学会等名 EWSHM2022（国際学会）
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Daigo Kawabe
2. 発表標題 A Computer Vision-based Identification of Natural Frequency of a Pole Structure and Damage Detection
3. 学会等名 IALCCE2023（国際学会）
4. 発表年 2023年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

氏名 （ローマ字氏名） （研究者番号）	所属研究機関・部局・職 （機関番号）	備考
---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8 . 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------