

画像解析を用いたボルトのゆるみ検知手法の開発

京都大学大学院 学生員 ○竹村 光平

京都大学大学院 正会員 河邊 大剛
京都大学大学院 正会員 金 哲佑

1. 序論

老朽化が進む構造物の安全性や使用性の維持のためには、構造物の維持管理は極めて重要であり、構造物の定期的な点検が行われている。例えば、橋梁の定期点検は、5年に1度、土木技術者の近接目視により行うことが義務付けられている。一方で、膨大な数の点検対象構造物や点検従事者の不足に伴い、効率的かつ簡易的に評価するセンサ情報によるモニタリングが検討されている。特に近年の画像処理技術の発展、デジタルカメラの高解像度化、さらにはドローンのような無人飛行機(UAV)の発展により、異常検知手法としてデジタル画像を用いた研究が多くなされている。

本研究では、ボルト接合が多い鋼構造物の点検項目としてボルトのゆるみに着目し、ゆるんだボルトのスクリーニング法を検討する。特に橋梁などの大型構造物において、全てボルトの緩みの有無を個別に調査することは、大変な労力と費用を要することから、詳細な調査の対象とするボルトを事前にスクリーニングする技術が望まれる。本研究では、ボルトの微動を撮影した動画からボルトのゆるみを検知する手法¹⁾を検討する。ゆるんだボルトを模型橋梁に装着し、模型車両走行による振動実験を行い、提案手法の妥当性を検証する。

2. 画像拡大法

画像拡大法による動画解析手法はビデオ内の局所的な位相変化を変更することで微小な変化を測定可能にする

方法である²⁾。

空間フィルタ処理によって画像から各画素の時系列を生成する。ある動画内の1つのフレーム画像内の任意のピクセル画像強度を $f(x)$ とすると、時間経過による画像強度の変化は $f(x + \delta(t))$ と表すことができる。これをフーリエ級数展開により複素数正弦波の重ね合わせとみなす。

$$f(x + \delta(t)) = \sum_{\omega=-\infty}^{\infty} A_{\omega} e^{i\omega(x+\delta(t))} = \sum_{\omega=-\infty}^{\infty} S_{\omega}(x, t) \quad (1)$$

S_{ω} の位相部分は動きの情報が含まれているため、位相を変化させることで動きを変化させることができる。 S_{ω} の位相部分で時間的変化を持つ $\omega\delta(t)$ を式(2)のように表す。

$$B_{\omega}(x, t) = \omega\delta(t) \quad (2)$$

B_{ω} に変化倍率 α を乗じ、 S_{ω} の位相にかけ合わせることで式(3)が得られる。

$$\hat{S}_{\omega}(x, t) := S_{\omega}(x, t) e^{i\alpha B_{\omega}} = A_{\omega} e^{i\omega(x+(1+\alpha)\delta(t))} \quad (3)$$

$\hat{S}_{\omega}(x, t)$ によって入力 $(1 + \alpha)$ 倍の動きをもつ複素数正弦波となり、ある周波数帯の動画を拡大することができる。また、フーリエ逆変換を行うことで、時間領域で増幅させた動画 $(f(x + (1 + \alpha)\delta(t)))$ が得られる。

3. 実験概要

画像拡大法の適用可能性について考察するために、実験室にて Fig.1 に示す模型橋梁にボルトで締めた鋼材を用意する。また、橋梁の供用中の常時振動を再現するた



Fig. 1 Photograph of experimental set up

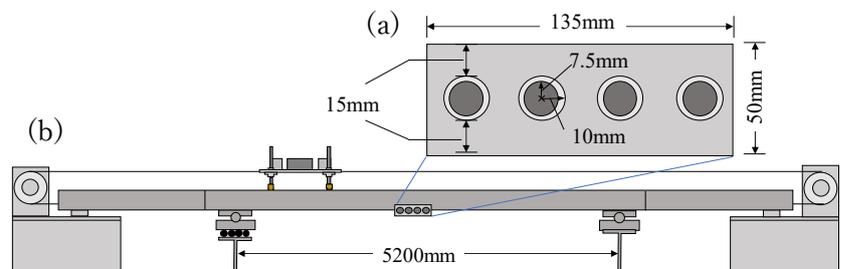


Fig. 2 Experimental setup: (a) steel plate with bolts, (b) model bridge under moving model vehicle.

キーワード 画像解析, ボルトのゆるみ検知, 振動ヘルスマニタリング,

連絡先 〒615-8540 京都市西京区京都大学桂 C1-183 社会基盤創造工学分野研究室 TEL 075-383-3421

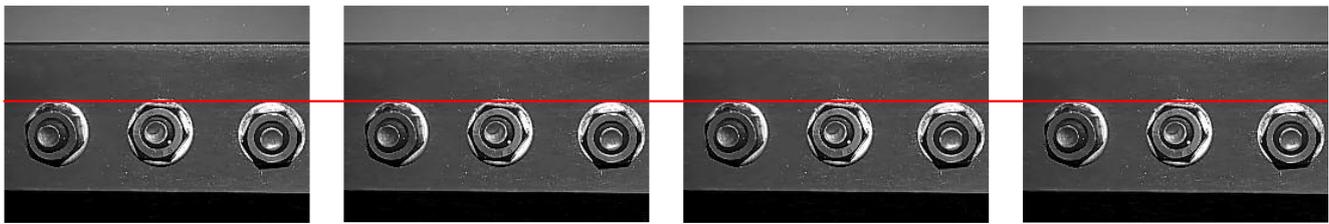


Fig. 3 Pre-processing video clip

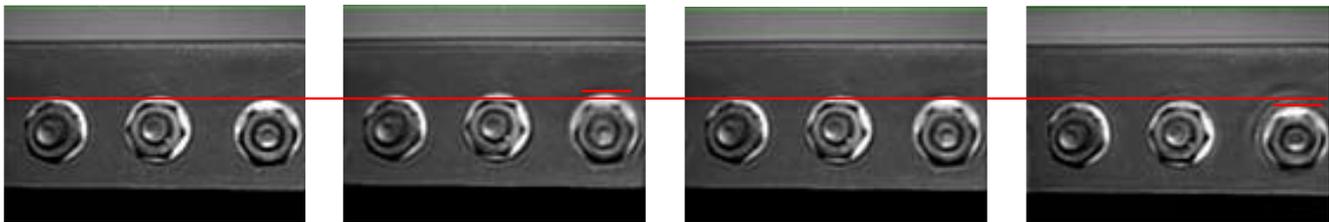


Fig. 4 Post-processing video clip

めに、模型車両走行による橋梁振動実験を行い、ボルトで締めた鋼材の振動を撮影する。フレームレートは1000fpsとした。なお、模型橋梁の1次モード固有振動数は3.64Hzであった。撮影するボルトは右から3つを対象とし、左から締め度合いを100%,25%,0%とした。ボルトおよび鉄板と模型橋梁の詳細図はFig.2に示す。支点間長5400mmであり、支承部の両端には、それぞれピンとローラー支承を設置している。

4. 画像拡大法による緩んだボルトの検知

Fig.3とFig.4に、画像拡大法を適用する前と画像拡大法を適用した後の動画内の画像を示す。なお、左の画像から1, 10, 30, 60フレーム目を示している。適用前では、ボルトのゆるみは肉眼では認識できない。しかし、適用後では、ボルトのゆるみ具合が大きくなるほど大きく振動していることが、肉眼で認識できるようになった。また、画像拡大法の適用前後の動画に対してボルトの振動を定量化したものをFig.5に示す。これより、適用前のボルトの振動と比較して、適用後のボルトの振動がボルトのゆるみ具合が大きくなる程大きくなっていることが分かる。この結果より、画像拡大法によって肉眼では認識できなかった動画の変化を認識できるようになることが確かめられた。

5. 結論

本研究では、締め付け度合いを変えたボルトに対して行った振動実験の動画から橋梁のボルトのゆるみを検出する方法として画像拡大法の適用可能性の検証を行った。その結果、画像拡大法により、ボルトのゆるみを可視化

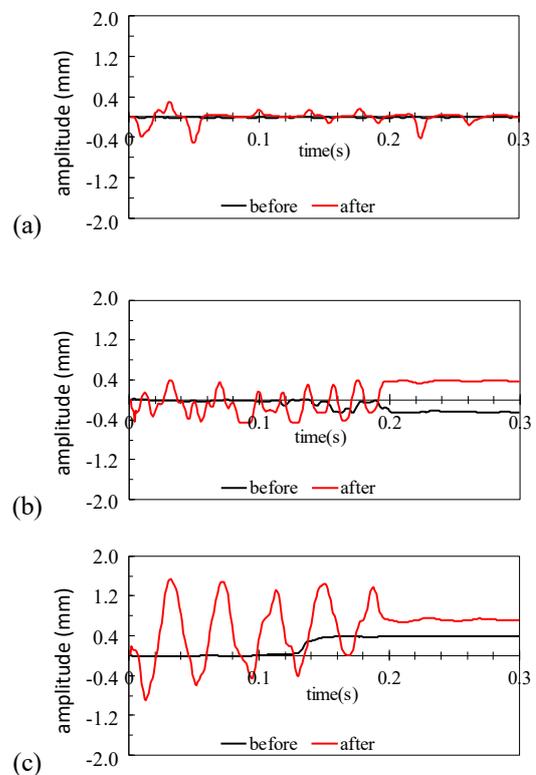


Fig. 5 Time histories of each bolt:

(a) left (100% tight), (b) center (25%), (c) right (0%)

することができ、ボルトのゆるみ検知手法として活用できる可能性を示した。また、画像拡大法により微視的な変化を可視化できることから、構造物の振動計測においても有効であると考えられる。

参考文献

- 1) A. Long, C.W. Kim, and Y. Kondo: Detection Loosening Bolts of Highway Bridges by Image Processing Techniques, EASEC16, Brisbane, Australia, December 3-6, 2019.
- 2) 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.