

光切断法を用いた非接触振動計測用の自己振動検知技術

○吉田 大一郎* 山根 知之* 福留 祐太*

* 地方独立行政法人鳥取県産業技術センター

Self-vibration detection technique for non-contact vibration measurement using the light-section method

○Dai-ichiro Yoshida*, Tomoyuki Yamane* and Yuta Fukudome*

*Tottori Institute of Industrial Technology.

Abstract: Using a freely falling metal rod, we attempted to measure the vibration frequency of the camera and laser without being affected by surrounding vibrations. As a result, we detected the same frequency as the vibration applied to the laser. However, the vibration applied to the camera was not detected.

1. はじめに

工場の製造機器の予知保全においては、機器の振動計測が重要である。その計測には主に接触式の手法が用いられているが、高温部や回転部、曲面部などセンサ取り付けが困難な箇所においては非接触式が必要である。著者らは、本来は形状計測技術である光切断法を、振動計測へと応用した新規の非接触振動計測技術の開発を進めてきた^{1, 2)}。本手法はラインスキャンカメラ及びライン状レーザーを用い、振動の変位を光切断法の高さ計測に見立て、高速で計測を行うことで振動の周波数測定を可能とするものである。しかし、カメラ等を用いた非接触振動計測においては、計測器を工場などの床面振動が想定される箇所に設置した場合、観測される信号は対象物の振動と計測器床面の振動が混在し、どちらの振動を表すのか不明になってしまう。また、基準となる静止した床面を探すのは、工場の様な環境下では困難である。また、免震台は重いため、設置が容易ではない。そこで我々は、自由落下する物体に着目した。自由落下中の物体は、床面振動の影響を受けないため、落下はしているが、振動はしていない。そのため、落下中の物体の振動が計測できれば、それは計測器側の振動ということになる。

そこで本研究では、光切断法を用いた振動計測手法を用い、落下中の金属柱の振動計測を試み、工場等の計測環境の床面振動の計測に活用できるか検討を行った。本手法により、計測器自身が受ける床面の振動周波数の見積もりが可能となり、対象物の振動との切り分けが可能となる。

2. 実験方法

2.1 光切断法を用いた振動計測

Fig.1 に光切断法を用いた振動計測手法の概略を示す。試験品は、振動試験機上に固定され、水平方向に加振される。レーザー光源は、図に示すように鉛直方向のライン状のレーザー（以下レーザーと表記）を試験品に斜め45°より投影し、試験品正面に設置されたラインスキャンカメラ（以下カメラと表記）によりレーザー輝線を撮影する。ここで、カメラ視野とレーザー輝線はクロスした状態となっている。そのため、光切断法の原理によりカメラ視野内のレーザー輝線は、振動に伴う試験品の微小変位に応じて、レーザー輝線を検知する画素が左右にシフトする。よってレーザーを検知している画素の内、明るさ最大の画素位置（以下レーザーピーク位置と表記）の時間変化をプロットすれば振動変位の時系列データが得

られ、時系列データの周期間隔を調べることで試験品の振動周波数が計測可能となる。なお、周波数の算出にFFT(Fast Fourier Transform)周波数解析法を用いた。

本研究はこの技術が基本となっており、加振する物体をカメラやレーザーに変更して検討を行った。

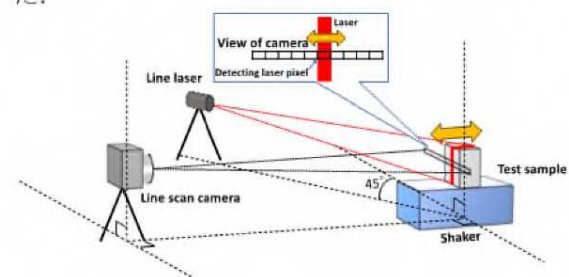


Fig.1 System over view of frequency estimation of test sample vibration

2.2 自由落下柱を用いた床面振動計測

Fig.2 に本実験で用いた床面振動計測方法の概略を示す。カメラ、レーザー、試料の位置関係はFig.1と同様であるが、カメラは振動試験機上に設置し、振動方向はカメラ-試料間の距離が振動に伴い微増減する方向とした。計測する試料は白色塗料を塗った金属四角柱（以下金属柱と表記）の平面を用いた。電磁石により固定していた金属柱を落下させ、カメラ視野に入っている時に振動計測を行う。ここで金属柱の長さは20cmである。金属柱が視野に入り通過するまでしか計測ができないため、カメラ視野は金属柱の落下速度が低い金属柱の初期位置のすぐ真下となるようにした。この場合、金属柱の通過にかかる時間は約0.2秒である。

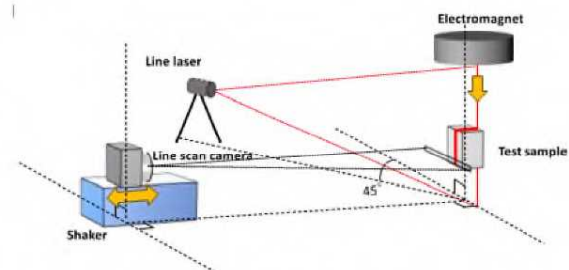


Fig.2 System over view of frequency estimation of camera body vibration

Table 1 に本計測の実験条件を示す。工場の製造装置等の異常振動を検知するため、50 ~100 Hz の範囲で実験を行った。また、計測時間が最大で

も 0.2 秒しかないため、種々の調整を行った結果、フレームレートは 9871 Hz とした。レーザーの波長は 635 nm (赤) を使い、外乱光の影響を少なく、かつレーザーの光を効率的に抽出するため 636 nm のバンドパスフィルターを用いた。

Table 1 Experimental conditions

Camera	Line scan 2048 x 1 pixels. CMOS sensor Sensor size : 14.3 mm
Scanning Frequency	9871 Hz
Lens	Aperture : 2.8 Focal distance : 105 mm
Filter	636nm band pass filter (FWHM 10 nm)
Test Sample	Metal rod 200 mm length
Wavelength of Laser	635 nm
Distance	Camera - Test Sample : 1m Laser - Test Sample : 1 m
Vibration Frequency	100 Hz
Development Environment	Matlab 2024a
Number of points for FFT	2048 point

3. 結果と考察

3.1 静止物を用いた振動測定結果

システムが正常に振動を計測できているか確認するため、Fig.2 に示したシステムを基本に、金属柱は免震台上に設置して静止した状態とし、カメラに 100 Hz、0.01 mm p-p の振動を印加して振動測定を行った。ここでレーザーピーク位置はカメラ視野のほぼ中央である。Fig. 3 にレーザーピーク位置の時系列データ及びFFT解析結果を示す。Fig. 3(a)より、周期的な振動をしていることがわかり、Fig. 3(b)よりその周波数は 200 Hz であることがわかる。100 Hz にも微小なピークが見られることから、200 Hz はその倍周期であることがわかる。金属柱は免震台上に設置されていることから、この振動はカメラ本体の振動を捉えていると考えられる。

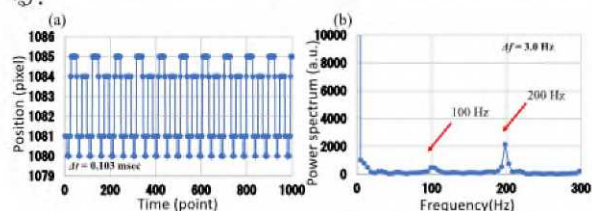


Fig.3 (a)Time series data of laser peak position with camera body vibration.
(b)FFT result of 100Hz 0.01mm-p camera body vibration

3.2 自由落下柱を用いた振動測定結果

次に、金属柱を落下させた際のカメラ本体の揺れを確認するため、カメラに 100 Hz、0.1 mm p-p の振動を印加しながら Fig.2 に示す実験を行ったが、周期的な信号は得られなかった (図示せず)。そこで、Fig.2 の位置関係のまま、カメラではなくレーザー本体を振動させた。振動方向はレーザー - 試料間を結ぶ方向である。ここでレーザーピーク位置はカメラ視野のほぼ中央である。Fig.4 にその時系列データ (振動あり・なし) 及びFFT解析結果を示す。Fig.4(a)に示すように、視野に入っ

から通過するまでにおよそ 1600~1900 ポイントのデータが得られた。その長さは 0.16~0.19 秒に相当し、妥当な値と考える。また振動の有無に拘わらず、ベースラインが徐々に変動している。これは金属柱が傾斜した姿勢で落下しているためと考えられる。その影響を減少させるため、FFT の計算に際しては、元の時系列行列の最終行の値を中心とした鏡映行列 (反転・折り返し) を作り、元の時系列行列に追記して解析を行った。FFT 解析の結果、印加した周波数と同じ 100 Hz が観測された。よって、レーザー本体に印加された振動を捉えていると考える。

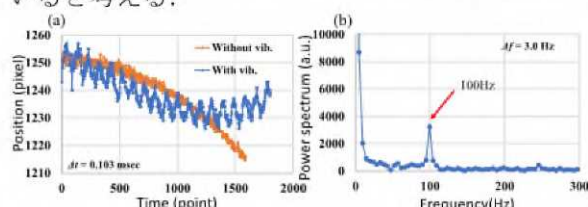


Fig.4 (a)Time series data of laser peak position with and without laser body vibration
(b)FFT result of 100Hz 0.1mm-p laser body vibration

3.3 考察

光切断法は対象物とカメラの距離の違いを可視化する手法である。しかし、3.2 章の実験において、カメラを振動させた場合は周期的な信号が得られなかった。これはレーザーと金属柱の間の距離や角度は振動に伴う変化はなく、輝線の投影位置が変わらなかったことと、カメラ視野のほぼ中央付近にレーザー輝線があったことが原因と考えられる。

一方、レーザーを振動させた場合には周期的なデータが得られた。このことは、レーザー光源の出力の向きと振動の方向が一致していなかったためと考えられる。

よって、3.1 章の静止物を用いた実験において周期的データが得られたのは、ピントのわずかなずれに伴うピーク位置の変動によるものと考えられる。カメラ側の振動を捉えるには、例えばカメラとレーザーの位置を入れ替え、カメラで斜めより撮像することで改善する可能性があると考えられる。

4. おわりに

自由落下する金属柱を用い、周辺振動の影響を受けない状態で、カメラ及びレーザーの振動計測を試みた。その結果、レーザーに印加した振動と同じ周波数を検出した。一方、カメラに印加した振動の計測については課題が残った。また、金属柱の落下方法にも課題が残った

参考文献

- 1) 吉田大一郎他：光切断法を用いた振動振幅計測，計測自動制御学会中国支部第 28 回学術講演会論文集，pp47-48(2019)
- 2) 吉田大一郎他：予知保全を目的とした非接触振動周波数計測技術の開発，計測自動制御学会中国支部第 32 回学術講演会論文集，pp103-104(2023)