

2C-4

光切断法を用いた振動振幅計測

○吉田 大一郎* 福留 祐太* 高橋 智一*

* 地方独立行政法人鳥取県産業技術センター

Estimation of the vibration amplitude by light-section method

○Dai-ichiro Yoshida*, Yuta Fukudome* and Tomokazu Takahashi*

*Tottori Institute of Industrial Technology

Abstract: In order to estimate the vibration amplitude without attaching sensors, light-section method, which is used for measuring sample shapes was applied. From the images taken by long exposure, the estimations of the vibration amplitude were accomplished by measuring the widths that laser lines moved on the sample.

1. はじめに

振動試験は、試験体の振動に対する耐性の確認や、共振点の有無を確認するために行われる。特に自動車部品や航空機部品、鉄道部品は、その動作が人命に影響することから、高い信頼性が求められており、振動に対する耐性が重要な要件となる。振動耐性の中でも共振に対する対策は部品・製品の劣化・破損を防ぐ上で最も重要である。共振点が存在した場合、使用中に破損する可能性があることから、補強や設計変更のための正確な共振位置の特定が必要となる。共振位置の特定を、触診、聴診、目視などにより行う場合は、個人差があり精度が低い。そのため、加速度センサを使用し測定を行うが、質量を持つセンサを取り付けることにより共振周波数が変化する、形状によっては加速度センサ自体取り付けができないという課題がある。この課題に対して、レーザドップラー式の非接触測定機が市販されているが、ポイント測定であるため、共振位置を特定するためには数十～数百箇所測定ポイントを移動させて測定を行う必要がある。

非接触形状測定分野では、以前より光切断法やLiDAR(Light Detection and Ranging)、受動ステレオ法などが研究されてきた。その中でも、光切断法はシステムが安価であり、また種々の知見があり、産業用途でも活用されている^{1,2)}。光切断法は、試料にライン状のレーザ光を照射し、そのレーザ輝線のずれから高さ情報を取得する方法であるが、本研究では、高さを振動振幅に見立てることにより、非接触振動振幅測定に適用できないか検討を行った。

2. 実験方法

Fig.1に本計測システムの概要を示す。計測システムは振動試験機、模擬試料、レーザ光源、及びカメラで構成される。レーザ光源は、ライン状のレーザを模擬試料に投影している。カメラはレーザ光源の上に設置され、レーザ輝線を斜め上方から撮影する。カメラのファインダーで見たレーザラインは、試験品の振動に合わせて、その位置が動いて見える。

Fig.2に模擬試料に投影されたレーザ輝線を示す。左に示すのが模式図であり、右に示すのが実際の輝線の写真である。模擬試料は1辺200mm角のブロック及びそこに片側のみ固定された幅30mm×高さ200mm×厚さ1.0mmの金属板から構成される。

Fig.3に計測方法の説明図を示す。通常のフレーム連写による方法では、高周波数時に撮り逃しが発生してしまう。そこで、長時間露光による方法を用いた。具体的には、Fig.1に示したカメラの位

置から10秒間(例)シャッターを開放して撮影する。その間レーザはファインダー内を何度も往復し、レーザが動いた箇所が太線として撮像される。このレーザ軌跡幅(太線の幅)と、実際の振動振幅の関係を調べることで、レーザ軌跡幅から振動振幅への換算が可能となる。

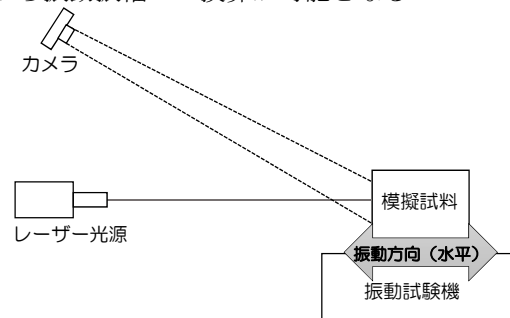


Fig.1 Measurement system

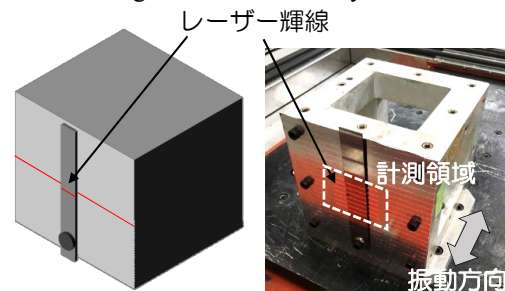


Fig.2 Laser lines projected on the simulated sample (Left: 3D image, Right: Photograph) (One laser line on the left and seven laser lines on the right)

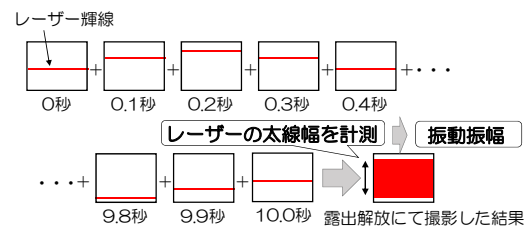


Fig.3 Shooting by long exposure

また、Fig.1～3においては1本のレーザの線内振動分布測定を行うが、本研究ではレーザ光を複数ライン化することにより面的な振動分布の推定を試みた。

Table 1に本研究で用いた実験条件を示す。レーザの波長は640nmを用いた。レーザは、1つの光源をDOE(Diffractive Optical Element)を用いて7本のライン状へ分岐した。模擬試料の一部として用いた金属板は事前にCAE(Computer Aided Engineering 使用ソフト: Solidworks 2015)により、共振周波数が23Hzと判明している。

Table 1 Experimental conditions

露光時間	0.1sec
絞り	16
レンズ	50mm
カメラ	1 インチ CMOS 4096×2168 ピクセル Global shutter 方式
レーザー波長	640nm
レーザー分岐本数	7本
振動周波数	10, 23, 50, 100Hz
振動振幅	0.1, 0.3, 0.5, 1mm p-p

3. 結果と考察

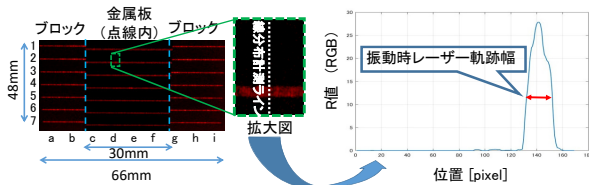
Fig.4(1)に7本のライン状としたレーザーを投影し、振動振動数 23Hzにて振動を行った際の長時間露光結果を示す。計測領域はFig.2 で示した箇所である。Fig.4(1)は、カメラで検出されたRGB値のうちR値の大きさを赤黒の濃淡で示している。拡大図中心の点線は線分布(図縦方向)の計測ラインを示す。1本のライン状レーザーにつき、a~iの9か所のR値の線分布を調べた。

Fig.4(2)に、(1)で示した計測ラインに沿って抽出したR値線分布を示す。静止状態であっても、レーザー輝線の幅は場所によってばらつきがあるため、静止状態でのレーザー幅を基準とし、相対レーザー幅(Relative Width :以下 W_r と表記)を次式のとおり定義した。

$$W_r = \frac{W_{vib}}{W_{st}}$$

W_{vib} : 振動時レーザー軌跡幅
 W_{st} : 静止状態レーザー幅

W_{vib} 及び W_{st} は、それぞれの状態におけるR値線分布の半値幅とした。1回の計測につき、7ライン状レーザー(縦)×9か所(横) = 63ポイントの W_r を算出し分布を得た。



(1) R image (2) Measurement of FWHM in R line distribution

Fig.4 Result of long exposure shooting

Fig.5 に振動振幅を 0.3mm p-p に固定し、振動周波数 23Hz及び 50Hzにて計測した W_r 分布のカラーマップを示す。色調が紫色ほど W_r が太いことを示す。振動周波数 23Hzにおいては、金属板の上部ほど紫に近くレーザーの輝線が太くなっている。一方、50Hzにおいては金属板部とブロック部に大きな差異は見られない。よって、共振箇所が可視化できていると考えられる。

次に、 W_r を実際の振動振幅へ換算するため、ブロック部の平均 W_r と実際に印加した振動振幅の関係調べた。ブロック部では共振は発生していないと仮定した。Fig.6 にブロック部平均 W_r と振動振幅の関係、及びそれらを用い各ポイントの振動振幅へ換算しカラーマップ表示した結果を示す。振動周波数は 23Hz、振動振幅は 0.1mm p-p及び 0.5mm p-pである。これらの結果から計測領域内において、金属板部は最大でそれぞれ 1mm p-p及び 2.5mm p-p程度の振幅で振動していると推定される。

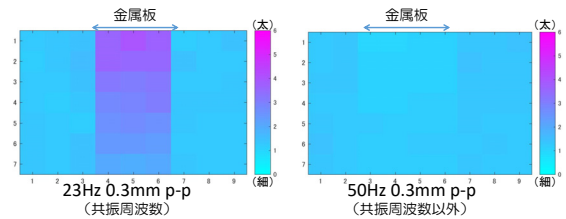


Fig.5 W_r color map

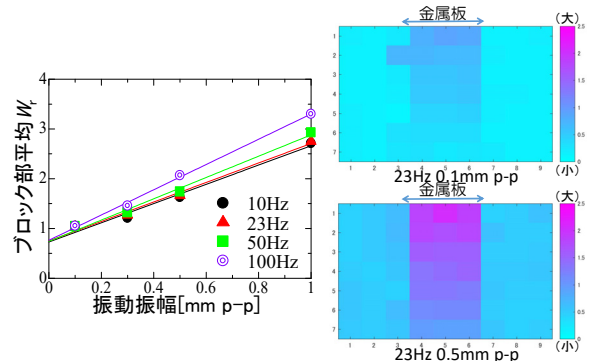


Fig.6 (Left) W_r vs. Vibration amplitude (Right) Color map of vibration amplitude

4. おわりに

光切断法と長時間露光により撮像したレーザー輝線太さを測定することで、振動する試料の非接触での振動振幅測定が可能となった。今後、計測精度や適用可能範囲(周波数、大きさ等)の見極めが必要である。

参考文献

- 1) 中川啓二, 松尾啓史: Ricoh Technical Report, No.39, pp.195-202 (2014)
- 2) 渡辺惇: エレクトロニクス実装学会誌, Vol.19, No.7, pp.481-484 (2016)

謝辞

本研究は、公益財団法人JKAの平成 26 年度公設工業試験研究所等における機械等設備拡充補助事業の補助を受けて導入した設備を利用して行いました。