

振動音を用いた周波数特定による 画像振動解析の高度化に関する研究

機械情報システム課 釣谷浩之 電子デバイス技術課 佐々木克浩^{*1}

1. 緒言

製品開発の際には、振動が製品に及ぼす影響を把握するために、振動解析が広く行われている。一般に振動計測には、加速度センサーが用いられるが、センサーを取付けた場所しか計測ができない、センサーの取付けが困難な場合がある、センサーの取付けによって振動特性が変化する場合がある、などの問題がある。この問題を解決するために、デジタル画像相関法を用いて、動画から振動計測を行う方法をこれまで開発してきた¹⁾。また、動画を用いた解析では、動画のフレームレートの半分の周波数までしか解析ができないという問題を解決するために、Prony 法の適用によりアンダーサンプリングされたデータからフレームレートよりも高い周波数までの解析を実現してきた²⁾。しかし、この方法では、計測しようとする振動の振動周波数がある程度推定できる必要があり、周波数が全く不明な状況では、高い周波数の振動解析を行うことができなかった。一方で、デジタルカメラやスマートホンでの動画撮影時には、音も同時に録音していることから、録音された振動音から振動周波数を特定できる可能性がある。本研究では、動画と同時に振動音を録音し、この振動音から周波数を特定することで、アンダーサンプリングされた周波数が不明な振動撮影動画から高い周波数の振動解析を実現しようとするものである。本年度は、振動試験機により掃引試験を実施し、その様子をデジタルカメラを用いて動画撮影し、撮影した録音・録画データの情報だけを用いて振動特性の計測を試みた。

2. 実験方法

2.1 試験体および振動状態の撮影

実験に用いた試験体は、縦 115 mm×横 160 mm×厚さ 1.2 mm のガラスコンポジット基板である。この試験体を四隅でアルミ製のスペーサーを介して 6mm の隙間を空けて振動試験機に固定した。固定した試験体に対して、周波数 10Hz から 190Hz、直線掃引で片掃引 180 秒(掃引速度 1Hz/s)、速度振幅 0.1m/s の掃引振動試験を実施し、その様子をデジタルカメラによって動画撮影し、同時に録音も行った。動画の画像サイズは、縦 1080pixel×横 1920pixel、フレームレートは、秒間 60 フレームとした。録音データのサンプリングレートは 48kHz であった。撮影開始から 10 秒後を最初として、その後 5 秒間隔で 1 秒間の録音デ

ータを用いて FFT により周波数スペクトルを求め、おおよその振動周波数を確認することとした。データの FFT には、MathWorks 社製の数値解析ソフトウェア MATLAB を用いた。録音データから概ね正しい周波数が得られた箇所について、録音データと同一時間帯の動画データを用いてデジタル画像相関法により変位計測を行った。

2.2 デジタル画像相関法による計測

デジタル画像相関法では、サブセットと呼ばれる一定のサイズの領域を決め、この領域単位で計算を行う。まず、粗探索により、残差が最小となる平行移動量(u_0, v_0)を各画素について求める。次に詳細探索を行い、1pixel 未満の精度で変位を求める。詳細探索では、次式で示す相互相関式を基礎とした評価関数を用いる。

$$C = 1 - \frac{\sum_{i=-M}^M \sum_{j=-M}^M I_d(X+i, Y+j) I_u(x+i, y+j)}{\sqrt{\sum_{i=-M}^M \sum_{j=-M}^M I_d(X+i, Y+j)^2 \sum_{i=-M}^M \sum_{j=-M}^M I_u(x+i, y+j)^2}} \cdots (1)$$

X, Y は、次式で表され、剛体変形および一様ひずみみを考慮している。

$$X = x + u + \frac{\partial u}{\partial x} i + \frac{\partial u}{\partial y} j, \quad Y = y + v + \frac{\partial v}{\partial x} i + \frac{\partial v}{\partial y} j \cdots (2)$$

ここで、(u, v) は、サブセットの中心における変位を示している。評価関数の未知数 ($u, v, \partial u/\partial x, \partial u/\partial y, \partial v/\partial x, \partial v/\partial y$) を Newton-Raphson 法を用いて求めることで、高い精度で変位計測が可能になる。

2.3 アンダーサンプリングによるパラメータの推定

今、観察対象の振動が、次式で表される単一正弦波であることがわかっているものとする。

$$x(t) = A \cos(2\pi f t + \theta) + d \cdots \cdots (3)$$

ここで、 A は振幅、 f は周波数、 θ は初期位相、 d は直流成分の大きさである。この振動を周波数 f_s でサンプリングし、標本値を得るものとする。このとき、連続した 4 標本を用いることで、Prony 法により各パラメータの推定値 ($\tilde{A}, \tilde{f}, \tilde{\theta}, \tilde{d}$) を求めることができる。本研究では、1つの

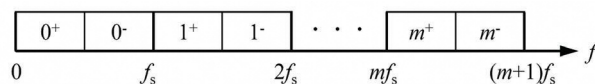


Fig. 1 Sampling mode definition

^{*1} 現 機械情報システム課

周波数あたり約 1 秒、59 標本について、計算を行った。
 実際の振動周波数 f に応じてサンプリングモードを Fig. 1 のように定義すると、アンダーサンプリングで標本化したデータを用いた場合、Prony 法により求めたパラメータの推定値と実際の振動のパラメータの間には、モードに応じて次の関係が成り立つ²⁾。

$$m^+ \text{モード} : \tilde{f} = f - m f_s, \tilde{\theta} = \theta, \tilde{A} = A$$

$$m^- \text{モード} : \tilde{f} = (m+1)f_s - f, \tilde{\theta} = -\theta, \tilde{A} = A \quad \cdots (4)$$

これにより、アンダーサンプリングにより得られたデータから実際の振動パラメータを推定した。

3. 実験結果

まず、録音した振動音から求めた周波数を確認したところ、10 秒後から 35 秒後では、周波数が 190Hz 以上であった。掃引振動試験は、10Hz から 1Hz/s で実施していることから、この周波数は明らかに間違っていることがわかる。40 秒後から 180 秒後では、周波数が予想される範囲に納まっており、概ね正しい周波数を示していることが確認できた。

次に、振動音から概ね正しい周波数を計測できた 40 秒後から 180 秒後について、振動音を用いた周波数計測と同様に 5 秒おきに 1 秒間の動画データを用いてデジタル画像相関法により、変位を求めた。この変位データを用いて Prony 法により振動パラメータを求めた。2.3 で説明したサンプリングモードは、振動音から求めた周波数を用いて決定した。Fig. 2 は、撮影した動画から計測した試験体の振動特性を示す。正しく計測できたと考えられる点は丸で、周波数が明らかに実際とずれている点はバツで示してある。Prony 法では、サンプリング周波数の 1/2 の整数倍の周波数では、正しく計算できないため、その近傍では計算できない場合が多かった。また、図から 110Hz 付

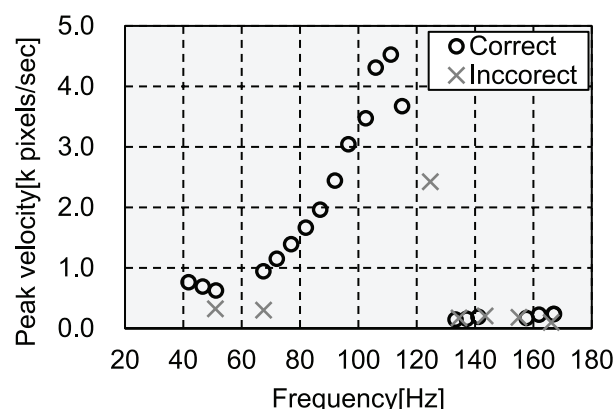


Fig. 2 Vibration character from sweep vibration test

近で明瞭なピークが確認でき、この周波数が、試験体の一次共振周波数であることがわかる。このように掃引振動試験を動画撮影するだけで、振動特性を計測することが可能となった。

4. 結言

本研究では、掃引振動試験を通常のフレームレート (60fps) で動画撮影するだけで振動特性を計測することを目標とした。動画撮影の際に同時に録音された振動音から振動周波数を特定することで掃引振動試験を撮影したデータ (録音を含む) だけから、動画のフレームレート以上の周波数の共振点を明確に確認することができるようになった。

参考文献

- 1) 釣谷浩之ほか: 富山県産業技術研究開発センター研究報告, **33** (2019) 77-78
- 2) 釣谷浩之ほか: 富山県産業技術研究開発センター研究報告, **35** (2021) 86-87

キーワード: デジタル画像相関法、振動音、周波数推定、アンダーサンプリング

Frequency Identification Using Vibration Sound for Vibration Analysis from Undersampled Moving Images Based on Digital Image Correlation

Mechanics and Digital Engineering Section; Hiroyuki TSURITANI and
 Electronics and Device Technology Section; Katsuhiro SASAKI*¹

In this work, we tried vibration analysis using only movie, including audio recordings, of the sweep vibration test. Electronic substrate fixed on plastic case was vibrated by vibration-testing machine. Moving images were recorded by digital camera that frame rate is 60 fps. Displacement distributions were measured from moving images by digital image correlation. Velocity and frequency of vibration were calculated from displacement distributions by Prony method. In the result, the primary resonance frequency was clearly detected.