

デジタル画像相関法に基づく振動解析技術の実用化研究

機械システム課 釣谷浩之 佐山利彦 金森直希

コーセル (株) 高柳毅 岡本佳之 富山県立大学 森孝男

1. はじめに

製品開発の現場では、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。この際、振動の計測には、主に加速度センサーが用いられている。しかし、このような方法では、振動の分布を測定するためには、多数のセンサーを取り付ける必要があり、また、小さな部品では、センサーの取り付け自体が困難な場合があるといった問題を抱えている。一方で、デジタル画像相関法を用いて、画像から、変位、ひずみの分布を測定するという試みが多く行われており、このデジタル画像相関法を振動の計測と解析に適用しようという試みも散見される¹⁾²⁾。画像から振動解析が可能になることで、振動計測、振動解析の過程は飛躍的に効率化されると考えられる。しかしながら、現実の製品への適用は、現在のところ非常に限定的である。本研究では、デジタル画像相関法による振動計測および振動解析を現実の問題に適用する上での問題点を明らかにし、この手法を現実の問題に適用可能にすることで、製品開発における振動対策の効率化を図るものである。本年度は、スポンジゴム製の片持ち梁を用いて、実際にデジタル画像相関法により振動計測が可能であることを検証した。

2. 試験方法および試験方法

2.1 試験体および振動状態の撮影

実験では、厚さ 9.5mm×幅 10mm×長さ 152mm の黒色のスポンジゴムを試験体として用いた。デジタル画像相関法による計測を容易にするために、試験体に白色の塗料をスプレーし薄く着色した。この試験体を 50mm だけ張り出すように固定し、振動試験機により強制振動させて動画撮影を行った。Fig. 1 は、振動試験機に固定された試験体を示す。振動条件は、周波数 5Hz、全振幅 1mm の

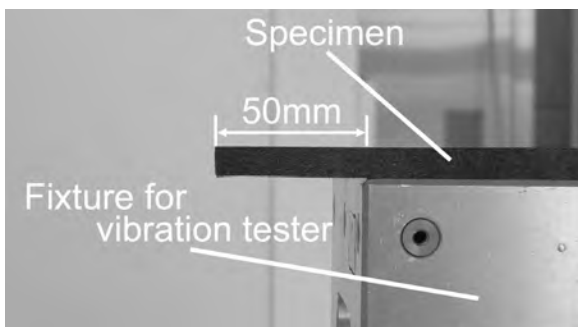


Fig. 1 Specimen fixed on vibration tester

一定振動とした。振動している試験体をデジタルカメラを用いて、画像サイズ縦 1080pixel×横 1920pixel、秒間 60 フレームで動画撮影を行った。撮影した画像の 1 pixel のサイズは、0.1mm であった。

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、まず、粗探索により、1 pixel 単位での変位分布を求める。次式で示される残差 S 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。

$$S(u, v) = \sum_{i=-M}^M \sum_{j=-M}^M |I_d(x+u+i, y+v+j) - I_u(x+i, y+j)| \quad \dots (1)$$

ここで、 I_u は変形前の画素値、 I_d は変形後の画素値、 M は探索に用いるサブセットのサイズであり今回は、 $M=9$ として粗探索を行った、 u, v はそれぞれ、 x, y 軸方向の変位である。

次に詳細探索を行い、1 pixel 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。

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

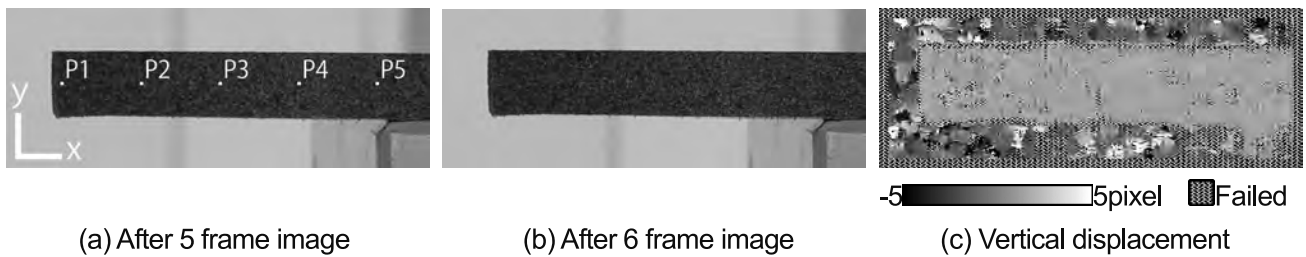
X, Y は、次式で表され、剛体変形および一様ひずみまでを考慮している。

$$X = x + u + \frac{\partial u}{\partial x} i + \frac{\partial u}{\partial y} j, \quad Y = y + v + \frac{\partial v}{\partial x} i + \frac{\partial v}{\partial y} j \quad \dots (3)$$

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 1 pixel 未満の精度で変位計測が可能になる。

3. 変位ベクトルの計測結果

比較的変位の大きかった、計測開始から 5 フレーム後と 6 フレーム後の画像を用いて、デジタル画像相関法により変位を計測した結果を Fig. 2 に示す。Fig. 2(a), (b) は、それぞれ計測開始から 5 フレーム後と 6 フレーム後の画像を示す。Fig. 2(c) は、Fig. 2(a), (b) の画像を用いて、デジタル画像相関法により計測した y 方向の変位の分布を示す。Newton-Raphson 法による計算が収束せず、計測でき



(a) After 5 frame image (b) After 6 frame image (c) Vertical displacement
 Fig. 2 Vertical displacement among the 5 frame after and the 6 frame after image measured by DIC

なかった領域は、タイルパターンで塗りつぶしてある。

変位が求まらなかった部分がわずかにあるものの、試験体のほぼ全域にわたって、変位が求まっており、1フレーム(16.7msec)で、試験体全体が、2.3ピクセルほど上方へ移動しているのが確認できる。なお、試験体以外の背景の部分については、計算は収束しているものの、変位が正しくは求まっていない。

4. 振動計測

変位の時間的な変化を確認し、デジタル画像相関法により振動の計測が可能であるか検証した。Fig. 3は、Fig. 2(a)に示したP1~P5の各点で、計測開始フレームに対する垂直方向の変位の時間的な変化を示す。値は各点の周囲、5pixel×5pixelの平均値である。図から、いずれの点でもほぼ同様の変位量で推移しており、全体が一様に振動していることがわかる。

極大値と極小値との差の平均は、1.0mm、また、極大値の間隔は、0.2secであり、振動試験機に設定した、全振幅1mm、周波数5Hzと一致しており、デジタル画像相関法により、振動を正確に計測することができた。

5. まとめ

今回、振動試験機により強制振動させたスポンジゴム製の梁を動画撮影し、その画像からデジタル画像相関法

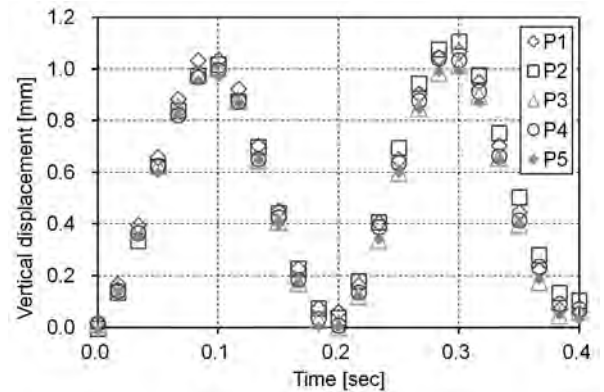


Fig. 3 Vibration waveform measured by DIC

を用いて振動計測を試みた。試験体に薄く塗装を施して微細なパターンを形成することで、試験体全体の振動分布を正確に測定できることが確認できた。計算が収束せず、変位が求まらなかった点もわずかながら存在したが、周囲の点からの補間することで解決可能であると考えられる。実際の製品や部品へ適用可能とするためにさらに研究を進める予定である。

参考文献

- 1) Bebernis, T. et al., *Proc. ISMA2012-USD2012*, (2012), pp. 1403-1415.
- 2) Chang, C.Y. et al., *Proc. The 14th IFToMM World Cong.*, (2015), pp. 635-640.

キーワード：デジタル画像相関法、振動計測、振動解析

Practical Application of Vibration Analysis Technology Based on Digital Image Correlation

Hiroyuki TSURITANI, Toshihiko SAYAMA, Naoki KANAMORI (Toyama Industrial Technology Center),
 Takeshi TAKAYANAGI, Yoshiyuki OKAMOTO (COSEL Co., Ltd.),
 and Takao MORI (Toyama Prefectural University)

In this work, we tried measure the vibration by digital image correlation. At first, the beam made by rubber sponge was vibrated by vibration tester and recorded to video image. The displacement distribution was measured from the video image by digital image correlation. In addition, the vibration was measured from the displacement distribution. The measured vibration corresponded approximately to the actual vibration.