

デジタルカメラを用いたモード形状の可視化に関する研究

機械情報システム課 釣谷浩之 企画管理部 金森直希

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応用し、デジタルカメラにより撮影した動画から、製品の振動特性の計測を可能としてきた。また、条件を限定することで、一般的なフレームレート(60fps)でアンダーサンプリングした動画から高周波の振動特性の計測を可能にしてきた¹⁾。一方で、定量的な計測は必要ないが、簡単にモード形状を知りたいというニーズがあり、デジタルカメラによる撮影データからモード形状を可視化できれば、非常に簡便にモード形状を知ることができるようになる。ただ、モード形状を可視化するためには、画像全体のピクセルについて、変位の計算を行う必要があり、全てのピクセルについて計算を行えば、非常に時間がかかり、デジタルカメラを用いたことによる利便性が損なわれる。そこで、本研究では、移動最小二乗法などの補間計算を適用することで、少ないピクセル数の変位計算から、短時間でモード形状を可視化することを目指す。これにより、振動計測・振動解析を広く普及させ、製品開発を効率化させることができ、県内企業の製品の高品質化に大きく貢献することが期待される。本年度は、少ない計測点からモード形状を把握することが可能であることを示し、計算時間を大幅に削減可能であることを検証した。

2. 実験方法

2.1 試験体および振動状態の撮影

Fig. 1 は試験体を示す。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

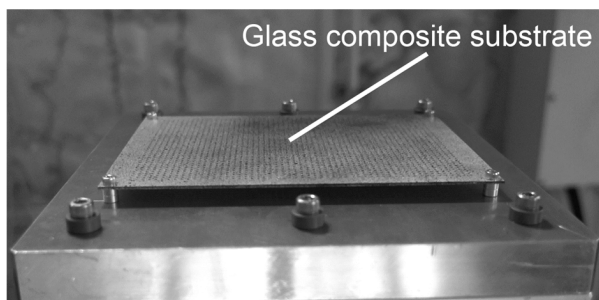


Fig. 1 Electronic substrate specimen

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。固定した試験体をこの試験体の共振周波数付近の104Hz、速度振幅0.1m/sの一定振動で強制振動させ、デジタルカメラによって動画撮影を行った。動画の画像サイズは、縦1080pixel×横1920pixel、撮影間隔は、秒間60フレームとし、撮影した動画を用いてデジタル画像相関法により変位を計測した。デジタル画像相関法による変位計測を確実にするため、試験体に黒色の塗料で薄く着色し、ランダムパターンを施した。

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。

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

X, Y は、次式で表され、剛体変形および一樣ひずみまでを考慮している。

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

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。今回は、サブセットサイズ $M=9$ で計算を行った。

2.3 計算条件

計算に用いたワークステーションは、HP社製 Z820 で、

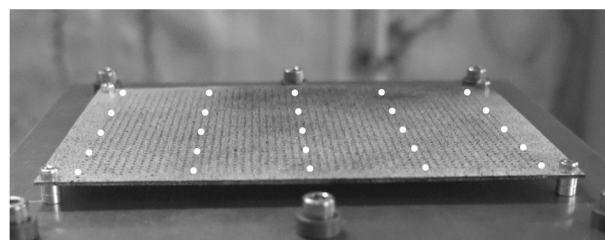


Fig. 2 Measured point for mode shape on the specimen

CPU は、Intel 社製 Xeon E5-2687W 3.1GHz 8Core 2 プロセッサ搭載 メインメモリ 128GB である。計算プログラムは、24 スレッド並列で計算を行った。

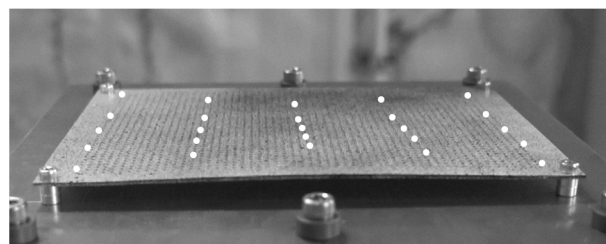
3. 実験結果

3.1 モード形状の把握

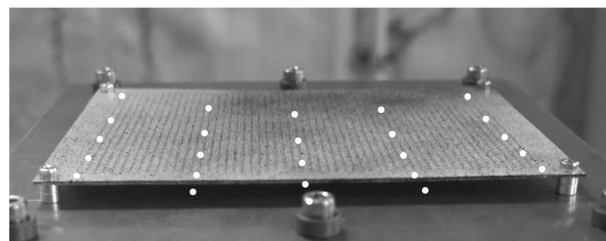
試験体を一定振動させて撮影した動画からデジタル画像相関法により、その変位を求めた。Fig. 2 は、基準フレームの試験体を示す。モード形状を分かり易くするために、白丸で示した 5×5 の 25 点について変位がどのようなようになったかを示す。Fig. 3 は、基準フレームから 1~2 フレーム後の変位を示す。Fig. 2 で示した白丸がどのように変位したかを、同様に白丸の位置で表示してある。変位が確認しやすいように、画像上下方向の変位は、実際の 5 倍に強調して表示してある。Fig. 3 から、25 個の点からモード形状を把握可能であることが確認できる。

3.42 計算時間の検証

画像全体の変位の計算にかかった時間は、178 フレーム分で、17 時間 54 分であった。ここから 1 フレームあたりの計算時間は、平均 6 分 2 秒である。画像内の計算領域は、縦 1246 ピクセル \times 横 546 ピクセル = 680,316 ピクセルであり、1 ピクセルあたり、0.532ms となる。モード形状の把握に必要な、 $5 \times 5 = 25$ 点の計算時間を求める。1 ピクセルの計算には、移動最小二乗法による補間計算のため半径がサブセットサイズ分 $\pm M$ の範囲の計算が必要である。今回サブセットサイズは 9 として計算したため、25 点分の計算のためには、 $25 \times (1+9 \times 2) \times (1+9 \times 2) = 9025$ 点の計算が必要となる。1 ピクセルあたりの計算時間は、0.532ms なので 1 フレーム分の計算には、 $0.532 \times 9025 \approx 4.8$ 秒となる。1 フレームの全ピクセルの計算には、6 分 2 秒かかっているため、25 点分の計算は、およそ 1.3% の計算時間で処理が可能であり、計算時間を 98.7% 削減できることがわかる。今回の計算は、24 スレッド並列で行って



(a) After 1 frame



(b) After 2 frame

Fig. 3 Mode shape at the primary resonant frequency

いるが、仮に並列計算が行えない CPU で計算した場合でも、 4.8×24 スレッド ≈ 115 秒で 1 フレームの計算が可能であり、この程度の計算時間であれば、エッジコンピューティングで処理することが可能である。

4. 結言

本研究では、振動する対象を撮影した画像から $5 \times 5 = 25$ 点の少ない計算点でモード形状を把握することが可能であることを明らかにした。また 25 点の計算点の計算には、画像全体の計算と比較して、1.3% の計算時間で計算が可能であり、並列計算なしでも、115 秒程度で計算が可能であることを示した。これにより、モード形状の把握には、エッジコンピューティングによりスマホなどのデバイスで計算ができる可能性があること示した。

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、No35(2021), pp.86-87.

キーワード：デジタル画像相関法、モード形状、振動解析、振動計測

Visualization of mode shape from Moving Images Based on Digital Image Correlation

Mechanics and Digital Engineering Section; Hiroyuki TSURITANI,
Planning and Management Department; Naoki KANAMORI

In this work, vibration mode shapes were visualized by the digital image correlation method from moving images of a vibrating object taken by a digital camera. In addition, it was shown that the mode shape can be grasped with a small number of points, and the calculation time can be greatly reduced.