

平板制振における圧電フィルム貼付位置の解析的評価

Analytical Estimation on Attached Position of Piezoelectric Films in Plate Vibration Control

小河原崇博¹⁾, 磯部大吾郎²⁾, 工藤篤博³⁾

Takahiro OGAHARA, Daigoro ISOBE, Atsuhiko KUDO

- 1) 筑波大学大学院 (〒305-8573 茨城県つくば市天王台1-1-1)
- 2) 工博 筑波大学 機能工学系
- 3) 筑波大学大学院

Piezoelectric film has become a major device in application for vibration sensors and actuators since it has remarkable characteristics in sensitive response and flexibility. Many researchers apply the piezoelectric films in vibration control of plate; however, the control effects are only estimated by surveying several points on test pieces by optical sensor devices. Since the control target has two-dimensional displacement field, it is desirable to estimate the vibration properties of the whole structure especially when the control target contains complicated vibration modes. In this paper, the optimum position of the piezoelectric films for effective vibration control is investigated analytically by using the Finite Element Method, and they are confirmed visually by a laser-holographic interferometer.

Key Words: Piezoelectric Film, Vibration Control, Plate, Finite Element Method, Laser-Holographic Interferometer

1. 緒言

圧電フィルムはその優れた柔軟性、反応性などから、振動センサやアクチュエータとしての応用が注目されており、なかでもはりや平板などのような構造物の振動制御に用いる研究例が数多くある[1]~[4]。しかしそれらの制振効果の評価手法は、限られた1点ないしは複数点の振動挙動を観察、測定し、その限られた情報から構造物全体の振動挙動を推測するというのが一般的であった。

このような評価手法は、はりなどのような比較的単純な構造に対しては正確にその振動挙動を把握することが可能であるが、その一方で曲げおよびねじり振動が複雑に組み合わさって生じる平板のような系に対しては、本来2次元的に振動挙動を捉えることが望ましいことから、必ずしも最良の評価手法であるとは言えない。そこで本研究では、センサ/アクチュエータとした圧電フィルムを貼付した平板に対し、有限要素法による数値解析によりセンシングおよびアクチュエーションの圧電フィルム貼付位置依存性を調べ、高効率な制振効果が得られるフィルム貼付位置を探った。また、実際に振動制御実験を行い、微小振動を2次元的に可視化可能であるレーザホログラフィ干渉装置を用いて平板面全体の振動挙動を撮影し、面全体に渡る制振の成否を検証した。

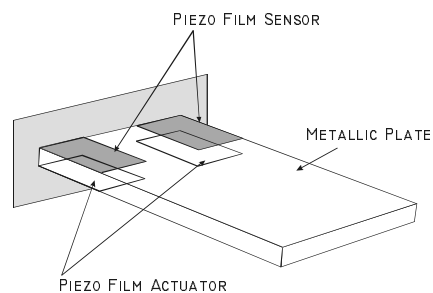


Fig.1 Schematic of cantilever plate

2. 解析対象およびその解析モデル

今回対象としたのはアルミ製の片持ち平板(180×80×0.5 mm)であり、その表裏にセンサおよびアクチュエータとしての圧電フィルム(40×15×0.052 mm)を貼付した(図1参照)。これらのフィルム2組を用いて平板面に生じる振動の制御を試みる。

有限要素解析における解析対象のモデル化には2次元要素である20節点アイソパラメトリック立体要素を用いた。その要素数および節点数はそれぞれ178, 1444である。このモデルに対して周波数応答解析を行い、実際に問題となる低次曲げモードの振動を対象とし、制振効果について検討した。なお、低次ねじりモードの振動についても評価を行ったが、紙面の都合上割愛する。

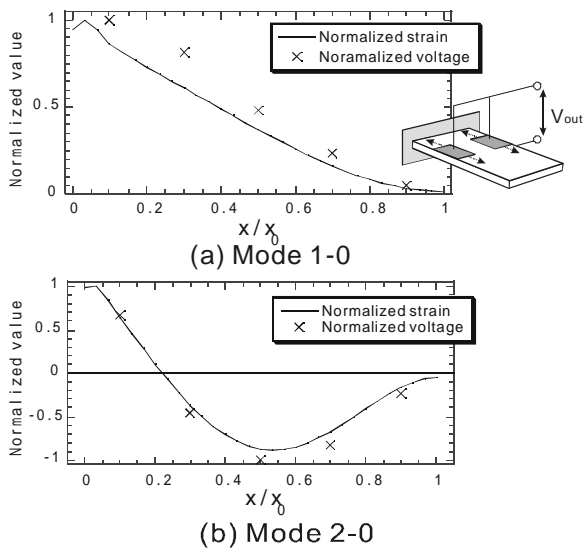


Fig.2 Relationship between strain and generated voltage when S/A are shifted along axial direction

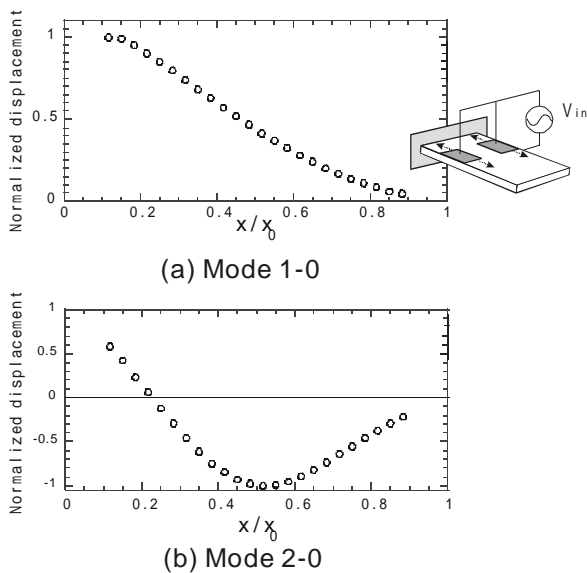


Fig.3 Influence of the actuator position upon tip displacement

3. 解析結果と考察

3.1 センサの最適貼付位置解析

ここでは、振動制御を行う上で重要な役割を果たすセンサについて、その貼付位置を変化させることによって得られる振動情報がどのように変化するかを調べ、それをもとに最も効率の良いセンシングが実現可能な貼付位置を導出する。図2は固定端近傍に動荷重を与えた時に生じるMode1-0 (1次曲げ)、2-0 (2次曲げ) の軸ひずみ分布と各貼付位置におけるセンサ発生電圧を無次元量で示す。これより軸ひずみと発生電圧には定性的な相関関係が見られ、またMode1-0においては固定端近傍、Mode2-0は固定端近傍および長手方向中央部に高効率なセンシングが可能な貼付位置が存在することが確認できた。

3.2 アクチュエータの最適貼付位置解析

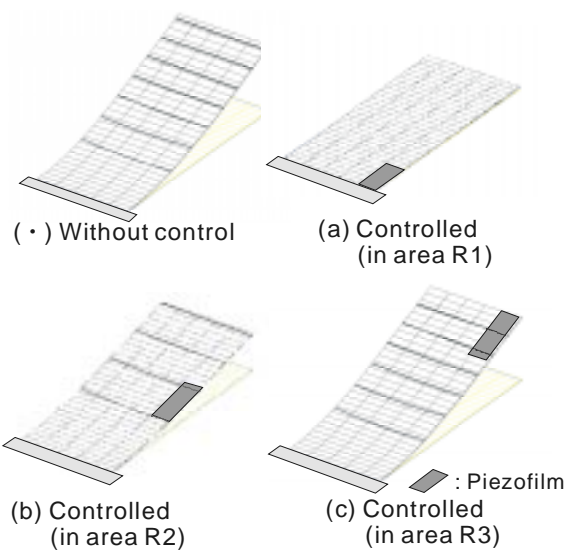


Fig.4 Vibration control by piezoelectric film attached in various areas (Mode 1-0)

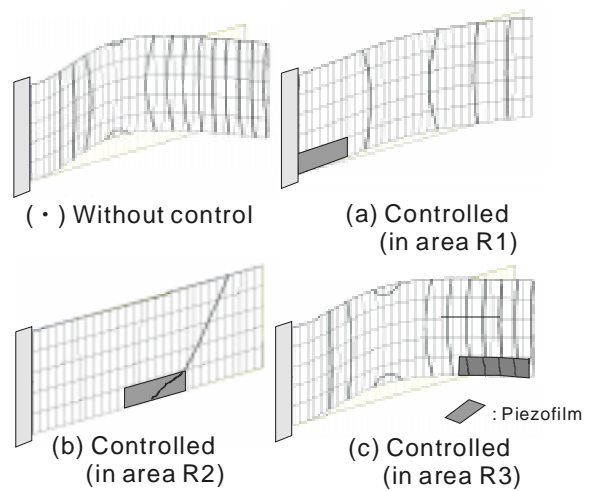
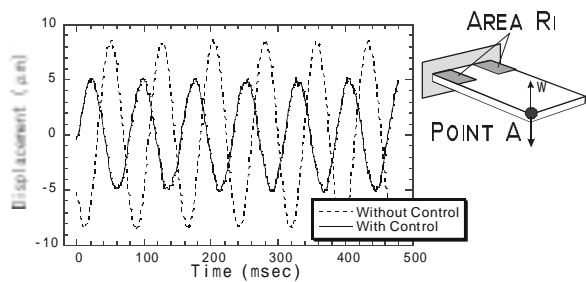


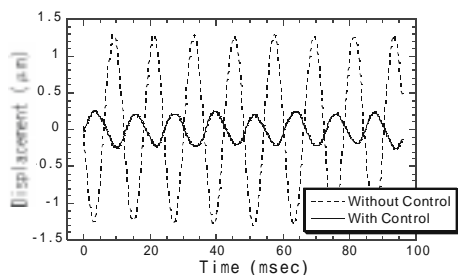
Fig.5 Vibration control by piezoelectric film attached in various areas (Mode 2-0)

振動制御システムにおいて制御対象に対して制御力を与える役割を持つアクチュエータに関して、効率良いアクチュエーションを実現するため、その貼付位置が変化することによる制御力の供給能力変化を調べた。図3は2組のアクチュエータに対して大きさが等しくかつ同位相の電圧を与え、それらの貼付位置を長手方向に変化させたときに発生した無次元たわみ変位である。Mode1-0は固定端近傍、Mode2-0は固定端近傍および長手方向中央部にそれぞれ大きな発生変位が得られており、これらの位置が各モードにおける高効率アクチュエーションを実現可能な貼付位置であることが確認できた。

さらに、アクチュエータとしての圧電フィルムの長手方向貼付位置の制振効果に対する影響を調べるため、定常振動の振動抑制シミュレーションを実施した。強制振動は固定端近傍に動荷重を設定することにより与えた。この時のMode1-0、Mode2-0の強制振動に対する結果をそ

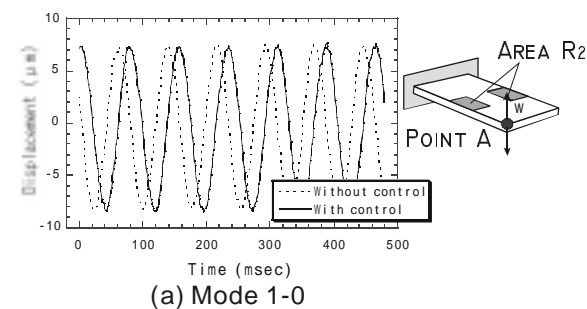


(a) Mode 1-0

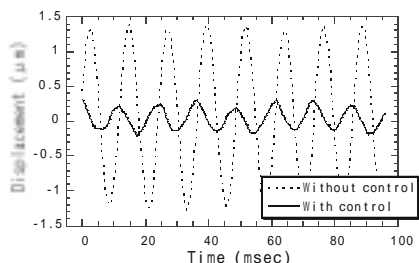


(b) Mode 2-0

Fig.6 Vibration control effect at point A by S/A attached in area R1



(a) Mode 1-0



(b) Mode 2-0

Fig.7 Vibration control effect at point A by S/A attached in area R2

それぞれ図4, 図5に示す。なお, これらの図では解析結果の変位量を拡大して可視化しており(図4では100倍, 図5では200倍), 図中の曲線はたわみのコンターラインを表す。図4では, 非制御時である(・)の場合, 大きな初期振動が発生している。これに対して固定端近傍R₁に貼付されたフィルムを用いて振動抑制を行った場合(a), ほぼ完全に振動が抑制されているが, フィルムを自由端方向に向けて移動する((b), (c))にしたがって徐々にその効果が薄れていく。一方, Mode2-0の強制振動(図5)に対しては, 固定端近傍R₁および長手方向中央部R₂で振動抑制効果が得られているが, 自由端近傍R₃に貼付した場合にはその効果があまり見られなかった。



(a) Without control



(b) With control

Fig.8 Mode 1-0, Area R1



(a) Without control



(b) With control

Fig.9 Mode 2-0, Area R1

以上の結果より, センサおよびアクチュエータとして圧電フィルムを用いた片持ち平板の振動制御システムを構築する場合, その貼付位置を変化させることによりセンシングおよびアクチュエーション, さらには強制振動に対する振動抑制の効率が変化することが確認され, このことからMode1-0の初期振動に対しては固定端近傍, Mode2-0に対しては固定端近傍および長手方向中央部分にセンサ/アクチュエータを組にして貼付することにより高効率な振動制御が実現可能であることが判明した。

4. 強制振動の制御実験

前章までに得られたシミュレーション結果を確認するため, 圧電フィルムを用いた制振システムを製作し, 実際に強制振動下の片持ち平板に対して振動制御実験を行った。圧電フィルムの貼付位置は長手方向に変化させ, その時に得られる制振効果の変化について調べた。

まず, 制振効果を局所的な振動, すなわち自由端端部

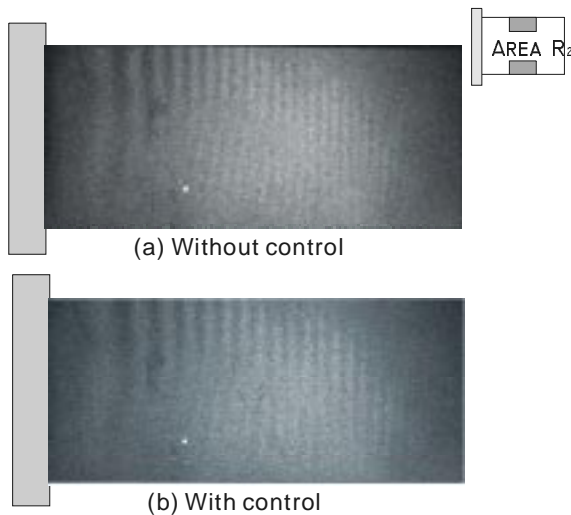


Fig.10 Mode 1-0, Area R₂

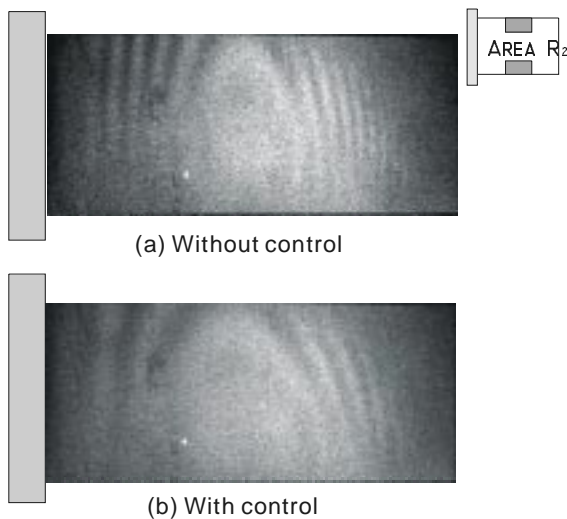


Fig.11 Mode 2-0, Area R₂

の振動履歴を用いて評価を行った。強制振動は固定端部に貼り付けられた圧電振動子によって与えた。図6は固定端近傍R₁にセンサ/アクチュエータを貼り付けた場合の結果である。(a)Mode1-0, (b) Mode2-0共に制振効果が見られる。長手方向中央部分R₂に取り付けた場合の結果を図7に示す。(a)Mode1-0には制振効果がほとんど見られない一方で, (b)Mode2-0は大きな制振効果が見られる。また, 自由端部分R₃に取り付けた場合については双方共に制振効果は得られなかった。

次に自由端端部の局所的な制振だけでなく, 平板面全体での制振効果を調べるため, 同様の実験を微小振動の可視化が可能なレーザホログラフィ干渉装置[5]を用いて実験を行い, 制振効果の評価を行った。図8に固定端近傍R₁にセンサ/アクチュエータを貼付してMode1-0の初期振動を制御した場合を示す。図中の縞は干渉縞であり, これらの縞の間隔が小さくなればなるほど面上で発生しているたわみ変位の勾配が大きいことを示している。制

御をかけることによって面全体に渡って縞と縞の間隔が広がっており, 面全体での制振がなされているのが分かる。同様に図9にMode2-0の場合の結果を示す。制御をすることによって面全体での大きな制振効果が見られる。さらにMode1-0において長手方向中央部R₂に貼り付けたセンサ/アクチュエータを用いた場合を示す(図10)が, この場合はほとんど制振効果が見られないことが分かる。その一方でMode2-0に対しては大きな制振効果が得られた(図11)。さらに自由端部分R₃に貼り付けた場合にはMode1-0, Mode2-0双方共に制振効果は見られなかった。

以上より, Mode1-0の制振には固定端近傍, Mode2-0の制振には固定端近傍および長手方向中央部分にセンサ/アクチュエータを貼り付けることにより, より大きな制振効果が得られることが判明したと同時に, 先の解析結果の妥当性が確認された。

5. 結言

本研究では, 平板制振に関する様々な振動特性について有限要素解析を行い, センサおよびアクチュエータの高効率な貼付位置を導出し, それを基に高効率な平板制振を実現可能な貼付位置を導出した。また実際に平板に生じた強制振動に対して制振実験を行い, 従来の多くの研究と同様の局所的な制振効果の確認をするとともに, レーザホログラフィ干渉装置を用いて平板面全体に対しての制振効果を確認した。今後は, 曲面構造に適用した場合について検討を重ねていきたい。

参考文献

- (1) 影山 和郎, 金原 勲, 石丸 徹: スマート複合材料はりの有限要素法を用いた振動制御シミュレーション, 日本機械学会第11回計算力学講演会講演論文集, No.98-2, pp.479-480, (1998).
- (2) 西垣 勉, 河野 篤史, 遠藤 満: 厚さの異なる圧電フィルムを用いたセルフセンシングアクチュエータの開発, 日本機械学会 Dynamics and Design Conference '99論文集, Vol.B, No.99-7, pp.502-505, (1999).
- (3) Ha, S. K., Keilers, C. and Chang, F. K.: Finite Element Analysis of Composite Structures Containing Distributed Piezoceramic Sensors and Actuators, AIAA Journal, Vol.30, No.3, pp.772-780, (1992).
- (4) Dimitriadis, E. K., Fuller, C. R. and Rogers C.A.: Piezoelectric Actuators for Distributed Vibration Excitation of Thin Plates, ASME J. of Vibration and Acoustics, Vol. 113, pp.100-107, (1991).
- (5) Maeda, T., Baburaj, V., Ito, Y. and Koga, T.: Flexural-Torsional Coupling Effect on Vibrational Characteristics of Angle-Ply Laminates, J. of Sound and Vibration, Vol.210, No.3, pp.351-365, (1998).