

波動伝播特性に着目した Piezoinpedance 法による応力測定

○ 東京大学大学院工学系研究科 学生員 宮下 剛
 東京大学大学院工学系研究科 正会員 阿部雅人
 東京大学大学院工学系研究科 フェロー 藤野陽三

1. はじめに

経年劣化に伴う事故が近年多発しており、構造物の維持管理が重要な問題となっている。そこで、構造物の健全性を客観的かつ合理的に把握する構造ヘルスマニタリング手法の確立が求められている。ヘルスマニタリング手法には、構造物自身をセンサ化したスマート構造により構造物の状態を逐次把握することを目的とした流れがある。このようなヘルスマニタリング手法の一つとして近年 Piezoinpedance 法が研究されている。Piezoinpedance 法とは、圧電素子を用いて構造物内部の状態を電氣的な量に変換して計測するヘルスマニタリング手法である。図 1 のように構造物の表面に貼りつけられたり埋め込んだりされた圧電素子に外部から交流電圧を印加すると、圧電素子は振動を行う。そして、構造物内部形成された定常状態を受け、圧電素子は電氣的な出力を行う。印加する交流電圧の周波数を連続的に変化させることで、入出力の比であるインピーダンスを測定結果として得ることが可能となる。

既往の Piezoinpedance 法に関する研究では、測定結果として得られる電氣的な変化量と構造物の変化量が結び付けられてはならず、定性的な段階に留まっている。そこで、本文では Piezoinpedance 法を定量的に用いる手法の確立を目的とする。具体的には、張力を受ける薄い梁を対象とし、インピーダンス同定手法および Piezoinpedance 法を用いた応力測定手法を提案し、手法の妥当性を実験により検証する。

2. インピーダンス同定手法および応力測定手法

構造物の表面に貼り付けられた圧電素子の力学的挙動は複雑なものと思われる。しかし、薄く長い梁では曲げ変形による効果が卓越すると考え、圧電素子の両端部に曲げモーメントが作用するとして図 2 のようなモデル化を行う。また、圧電素子と梁は一体化しており、梁全体をベルヌーイ・オイラー梁と仮定した。曲げ変形の方程式と圧電素子の圧電基本式を組み合わせることで、交流電圧の周波数に対するインピーダンスの応答関数を導出した¹⁾。

曲げ変形による波動は、分散性を示し、応力状態により位相速度が変化する。梁の剛性は部材に加えられ張力よりも十分に大きく、また周波数の変化は測定を行う周波数の大きさよりも十分に小さいと仮定して近似を行い、張力の変化量 ΔT と周波数の変化量 $\Delta \omega$ を結びつけると次のようになる。

$$\Delta T \approx 2\alpha \Delta \omega \quad (1)$$

ここで、 α は材料特性および幾何形状に基づく定数である。変形を 1 次元と見なせる薄い梁では、張力を受けると変形が一様に生じる。そのため、Piezoinpedance 法により計測されるインピーダンスの絶対値のグラフは、張力を受ける前後で全体的な形を保った上での平行移動が生じる。グラフの平行移動量が式(1)における周波数変化量 $\Delta \omega$ に当たり、張力の変化量 ΔT を求めることが可能となる。

3. 実験の概要および計測結果

本文 3 節で提案した手法の妥当性を検討するために、張力を加える前後でのインピーダンスの計測を行った。実験に用いた供試体の物性値および幾何形状を

キーワード：ヘルスマニタリング、圧電素子、Piezoinpedance 法、応力測定、分散性波動

連絡先：〒113-8656 東京都文京区本郷 7-3-1 Tel：03-5841-6099 Fax：03-5841-7454

それぞれ表 1 , 表 2 に示す . 圧電素子をアルミニウムの梁の中央部に接着し , インピーダンスアナライザにより周波数を連続的に変化させながら交流電圧を印加した . 作成した供試体は , 天井から吊るし , 下端部に重りを下げることで張力を加えることにした .

図 3 に張力を加えないときのインピーダンスの絶対値の計測結果と解析結果との比較を示す . 両者のグラフは , 全体的な傾向は一致しており , 低い周波数では局所的なピーク位置も一致している . しかし , 周波数が高くなるにつれて , ピーク位置にずれが生じ , また減衰を考慮していないためピークの高さが一致していない .

図 4 に張力を加える前後でのインピーダンスの絶対値の計測結果を示す . グラフの平行移動量から式(1)に基づき , 加えた重りを同定したところ相対誤差が約 4% となり , 提案した手法の妥当性が示せた .

4 . まとめ

ピエゾインピーダンス法により計測される電気的変化量と構造物の力学的な変化量を関連付ける手法を提案した . 今後は , 計測されるインピーダンスを正確に再現するモデルを構築することが求められる . そして , ピエゾインピーダンス法を絶対的な計測手法として確立し , ヘルスモニタリング手法に積極的に活用していくことが望まれる .

[参考文献]

- 1) 宮下剛 , 阿部雅人 , 藤野陽三 : 卒業論文 , 波動伝播特性に着目したピエゾインピーダンス法による応力測定 , 東京大学 , 2001.

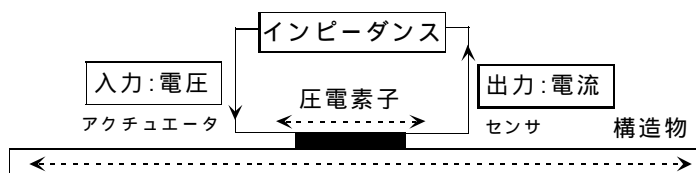


図 1 ピエゾインピーダンス法の概念図

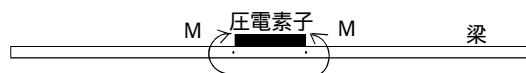


図 2 圧電素子が貼り付けられた梁のモデル化

表 1 供試体の物性値

	アルミニウム	圧電素子
ヤング率 $[N/m^2]$	6.9×10^{10}	6.6×10^{10}
密度 $[kg/m^3]$	2700	7840
ポアソン比	0.345	0.310

表 2 供試体の幾何形状

	幅 $[mm]$	厚さ $[mm]$	長さ $[mm]$
アルミニウム	20	1.00	1000
圧電素子	20	0.267	20

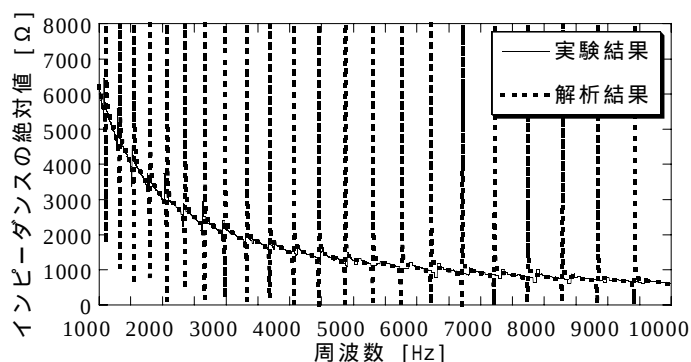


図 3 測定結果と解析結果の比較

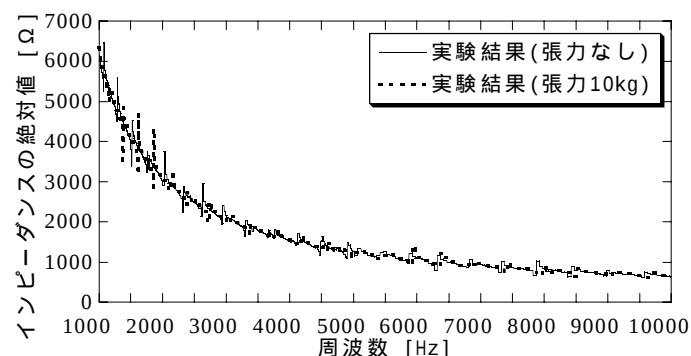


図 4 張力の有無による計測結果