

ピエゾインピーダンス法による応力測定および2次元波動場特性の把握

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

1. はじめに

社会基盤施設の経年劣化に伴う損傷・事故が近年多発しており、維持管理の重要性が認識されつつある。既往の維持管理手法として目視・打音検査などがあるが、経験を要する手法であり、客観的な手法とはいいがたい。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、圧電材料を構造物に埋め込むことで、構造物自身にセンサ機能をもたせたスマート構造化により、構造物の状態を常時把握することを目的とした流れがある。本文では、このようなヘルスマニタリング手法の一つとして近年研究されているピエゾインピーダンス法を扱う。

2. ピエゾインピーダンス法

ピエゾインピーダンス法とは、圧電素子の電気力学的特性を利用して構造物内部の力学的特性を電気的な特性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たり、埋め込んだりした圧電素子に外部から交流電圧を印加すると、圧電素子は逆圧電効果に基づく振動を行う。そして、構造物の内部状態を反映して、圧電素子は圧電効果に基づく電気的な出力を行う。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。

ピエゾインピーダンス法の既往の研究としては、1/4 鋼橋梁模型、合成コンクリート壁、シリンダー構造の先端部、ギア、宇宙構造物、航空機などを対象としており、実構造物を想定したものである。これらの研究では、構造物のモデル化が十分に行われず、人工的に損傷を与える前後の計測結果から損傷について定性的な判断を下すに留まっている。そこで、ピエゾインピーダンス法による計測結果から構造物内部状態を定量的に評価する手法の確立が求められている。

ピエゾインピーダンス法により、構造物の内部状態について定量的な評価を与えた研究として、梁部材に加わる張力を同定した研究がある¹⁾。これは、圧電素子が貼り付けられた梁のモデル化を行い、計測されるインピーダンスの周波数応答関数を解析的に導出し、最適化手法である GA(Genetic Algorithm)や simplex 法と組み合わせることで、梁部材に加わる張力を同定する。この張力同定手法によると、計測結果の前後比較は必要とせず、一回の計測結果から、張力を同定することが可能となる。

本研究では、梁部材と同様に構造物の基本部材である板部材の応力状態をピエゾインピーダンス法により定量的に評価することを目的とした。板内部の応力場を、一回の計測結果のみから同定する手法の確立を目標としている。

3. 実験の概要および計測結果

梁部材から板部材にするにあたり、2次元の波動場の特性を調べるために、供試体の長さおよび厚さを一定にしたまま、幅のみを変化させて張力を加える前後での計測を行った。今回の実験に用いた供試体の物性値を表-1に示す。供試体の幾何形状を表-2に示す。圧電素子の形状は、すべてのケースで同一としている。圧電素子は、アルミニウムに接着材を用いて直接貼り付けた。交流電圧を印加するために、リード線を圧電素子にはんだ付けした。周波数範囲は、1000～5000Hzとし、10Hz ずつ変化させた。張力として、10kgの重りを吊るすことで与えることにした。これ以外の周波数範囲でも計測を実施したが、明確なピークが現われなかったため、今回の実験では採用しなかった。供試体により、インピーダンスが一桁ほど大きくなるケースも確認された。これは、圧電素子とアルミニウムの接着状態に起因するものと思われる。また、計測は同一の供試体を用いる限り非常に安定したものであった。

キーワード 構造ヘルスマニタリング、圧電材料、インピーダンス、応力測定、板

連絡先 〒113-8656 東京都文京区本郷 7-3-1 東京大学工学系研究科社会基盤工学専攻橋梁研究室 TEL 03-5841-6099

今回の実験の計測結果を図-2～図-6に示す．幅 20cm および 30cm の場合は，10kg の重りでは，板に加わる応力が小さくなるため，張力を加える前後で，計測結果に明確な違いが現われなかった．供試体の幅を広げ，梁部材から板部材になるにつれて，圧電素子の複振動によりピークの現われ方に周期性がなくなり，2次元波動場としての影響が含まれてくることが確認できる．また，図-3，図-4より，圧電素子の力学的な共振に基づくピークのうち，張力を加える前後で，周波数軸方向に平行移動するものとしがないものがあることがわかる．

4. まとめ

ピエゾインピーダンス法を用いて，板部材の応力場を検出する手法を構築するのに先立ち，2次元の波動場の特性を調べる実験を実施した．今後は，張力の大きさおよび加える方向を変化させた実験を進める．実験と並行して，解析モデルおよび有限要素法プログラムの構築を進めていき，張力により影響を受ける波動成分に着目することで，板内部の応力状態を検出する手法を構築する．そして，基本部材を組み合わせる事で，実構造物の応力測定への適用を進めていきたいと考える．

表-1 供試体の幾何形状

	幅 [mm]	厚さ [mm]	長さ [mm]
アルミニウム	20.0	1.00	300
	40.0		
	60.0		
	200		
	300		
圧電素子	20.0	0.267	20.0

表-2 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
圧電定数 $[m/V]$	—	-1.9×10^{-10}
誘電率 $[F/m]$	—	1.6×10^{-8}

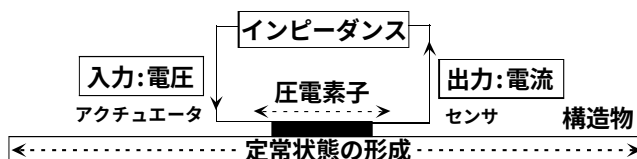


図-1 ピエゾインピーダンス法の概念図

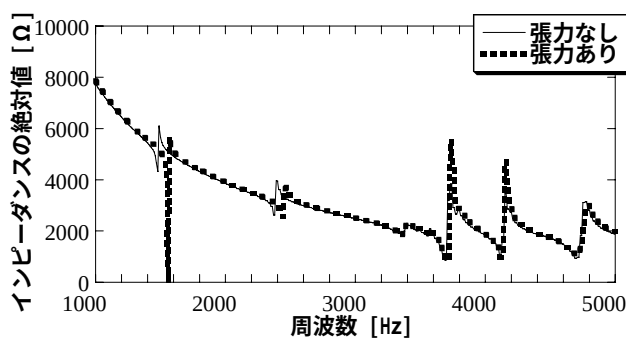


図-3 幅 4cm の場合の張力を加える前後での計測結果

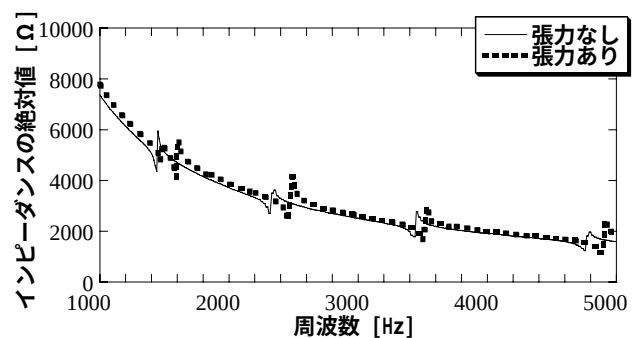


図-2 幅 2cm の場合の張力を加える前後での計測結果

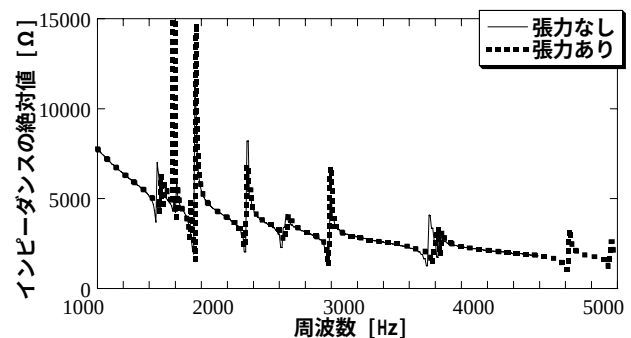


図-4 幅 6cm の場合の張力を加える前後での計測結果

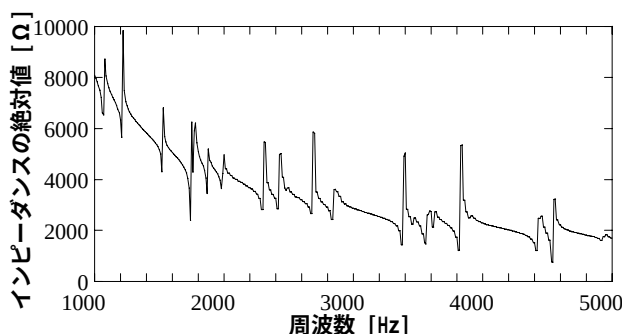


図-5 幅 20cm の場合の計測結果

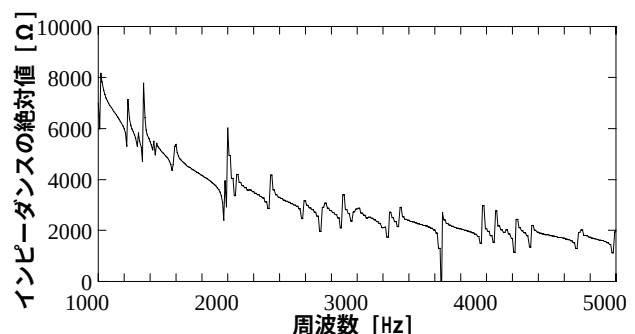


図-6 幅 30cm の場合の計測結果

[参考文献]

- 1) 宮下剛，阿部雅人，藤野陽三：ピエゾインピーダンス法による梁の張力同定，土木学会論文集（受理）