

圧電体を用いたスマート構造による二次元応力場同定手法の構築

○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、構造物の維持管理の重要性が認識されている。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、客観的な手法とは言いがたい。そこで、構造物の健全性を客観的かつ合理的に把握する定量的な構造ヘルスマニタリング手法の確立が求められている。構造ヘルスマニタリング手法には、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。本研究では、このような構造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圧電体を用いた Piezoelectric Impedance Method (PIE) について扱う。

2. Piezoelectric Impedance Method (PIE)

PIE 法では、圧電体の電気的特性および機械的特性が連成する性質を利用する。具体的には、図-1 のように構造物の表面にセラミックスから成る圧電素子を貼り付けたり埋め込んだりする。このとき、圧電素子は軽量であるため、構造物の動的特性に与える影響は小さい。外部から交流電圧を加えると、圧電素子は逆圧電効果に基づいて振動を発生し、構造物内部に波動が伝播する。やがて構造物内部に定常状態が形成されると、圧電素子は圧電効果に基づいて電流を外部に出力することになる。計測結果として、入力電圧と出力電流の比である電気的インピーダンスが得られる。この手法を用いることにより、構造物に損傷が生じたり構造物の応力の状態が変化したりすることで生じる構造物の動的な応答の変化を電気的インピーダンスの変化として定量的に評価することが可能となる。

構造物を維持管理するためには、応力状態を正確に評価する必要がある。構造物の応力分布を評価するためには、一般的にひずみゲージが用いられる。ひずみゲージでは、抵抗線の長さの変化が起これないと応力状態を計測することは不可能である。それに対して、PIE 法では圧電素子を用いて構造物を強制的に振動させることにより、構造物内部に波動を伝播させる。構造物内部を伝播する波動が応力状態を反映することから、ひずみゲージとは異なり応力状態を一回の計測で絶対的に評価することが可能になる。

PIE 法に関する既往の研究では、鋼橋梁模型などに人為的に損傷を加えた前後での計測結果を比較し、損傷の有無を定性的に評価している。しかし、構造系のモデル化が十分に行われていないため、PIE 法により得られる電気的特性量と構造物内部状態の変化量を定量的に結びつける点では成功していない。近年、宮下ら¹⁾が軸力を受ける薄い梁を対象として構造モデル化を行い、PIE 法により計測される電気的インピーダンスから梁に加わる軸力を同定する手法の構築を行っている。本研究では、梁と同様に構造物の基本部材である板を対象として、PIE 法を用いた二次元応力場の同定手法の構築を目的とする。具体的には、薄板に応力場を発生させる前後での電気的インピーダンスの計測および計測結果から薄板に発生した二次元の応力場分布を同定する逆解析手法の構築を行う。

3. 板の実験の概要および計測結果

本研究では、まず薄板に応力を加える前後での電気的インピーダンスの計測を行った。実験に用いた供試体の幾何形状を表-1 に示す。計測システムの概要を図-2 に示す。圧電素子は、供試体にシアノアクリレート系接着剤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ている。印加した交流電圧は 10 [V] であり、インピーダンスアナライザにより電気的インピーダンスの計測を行いながら交流電圧の周波数を連続的に変化させた。交流電圧の周波数の範囲は、1000 ~ 5000 [Hz] とし、10 [Hz] ずつ変化させた。供試体は天井から吊るし、2次元の応力場は板の下端部に重りを加えることにより発生させ

キーワード 構造ヘルスマニタリング, 圧電材料, 電気的インピーダンス, 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

た．用いた重りは，20 [kgf] である．重りの加え方として図-3 のように板の軸方向に加える場合と対角線方向に加える場合の2ケースについて考慮した．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．

図-4 に板の軸方向に重りを加える前後での実験結果の比較を示す．図-5 に板の対角線方向に重りを加える前後での実験結果の比較を示す．図-4，図-5 に見られる電気的インピーダンスのピークは，供試体全体の共振を表している．梁の場合では，軸力を加える前後での電気的インピーダンスの計測結果には，平行移動が生じていた．しかし，板の場合は，図-4，図-5 を見ると，共振に基づくピークの変化に周期性が見られず，周波数成分により応力の影響の受け方が異なることが確認できる．また，板に発生する応力場により計測結果に違いが現われることから，構造モデル化を行うことにより計測結果に基づいて二次元の応力場の同定が可能になる．

4. まとめ

本研究では，定量的な構造ヘルスマニタリング手法を構築するために，圧電体の電気力学的連成特性を利用することで，構造物内部の状態を電気的インピーダンスから評価することが可能な Piezoelectric Impedance Method を扱った．具体的には板に発生する二次元の応力場を Piezoelectric Impedance Method により同定する手法の構築を目的として，板に応力場を発生させる前後での電気的インピーダンスの計測を行った．その結果，計測される電気的インピーダンスに板に発生する応力場に基づいて変化が生じることが確認できた．今後は，Piezoelectric Impedance Method における現象を精緻に再現する構造モデル化を行う．これにより，板に発生するような二次元の応力場を一回の計測結果から絶対的に同定することが可能な逆解析手法の構築を行う．また，圧電体が発生する波動は，高周波数領域になると波長が短くなることから局所的な影響を受けやすくなる．そのため，境界条件の影響を正確に評価することが可能な計測システムの構築を行う．

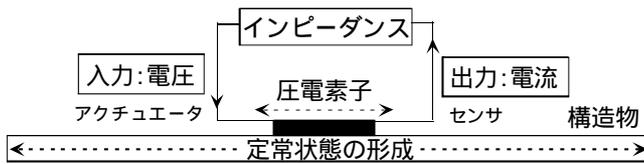


図-1 ピエゾインピーダンス法の概念図

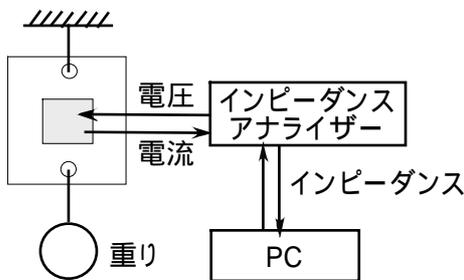


図-2 計測システム

表-1 供試体の幾何形状

	幅[mm]	厚さ[mm]	長さ[mm]
アルミニウム	100	0.5	100
圧電素子	20.0	0.267	20.0

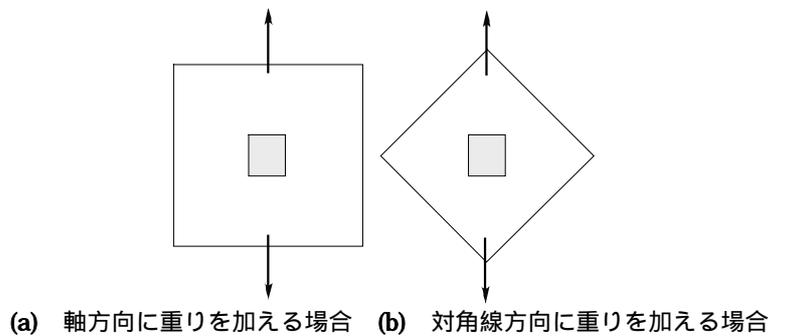


図-3 板の計測ケース

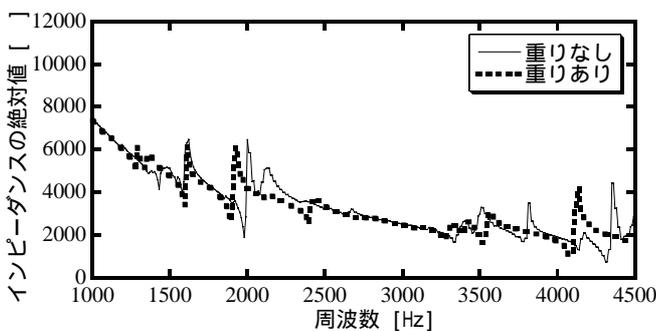


図-4 軸方向に重りを加えた場合の計測結果

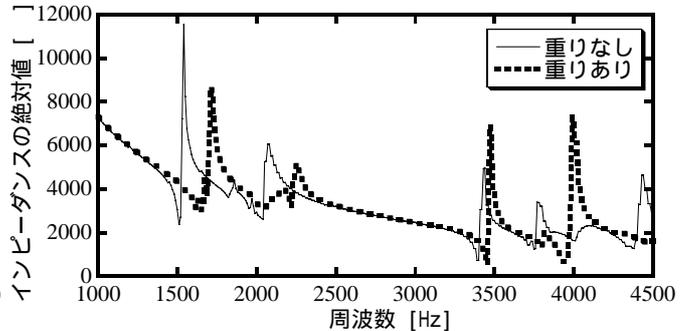


図-5 対角線方向に重りを加えた場合の計測結果

参考文献

1) 宮下剛，阿部雅人，藤野陽三： Piezoelectric Impedance Method による梁の張力同定，土木学会論文集，No. 710/ -60, pp. 373-384