

ナノ PZT 粒子分散絶縁層により形成された埋め込み型センサを有する 自己診断 FRP の開発

Development of self-diagnosing FRP with embedded sensor formed by nano PZT particulate insulated layer

プロジェクト代表者：蔭山健介（工学部・助教授）

Kensuke Kageyama (Faculty of Engineering, Associate Professor)

1 緒言

FRP の力学的信頼性を向上させるために、FRP の電気抵抗を測定したり、光ファイバを埋め込むことにより、光ファイバ周辺のひずみを測定するなど、自己診断 FRP の開発を目指して、さまざまな研究が行われている。そして、FRP に圧電アクチュエータまたはセンサを埋め込み、振動を検出することにより、FRP の振動を制御したり、損傷やひずみの評価を行う研究も行われている。しかし、従来の圧電素子を用いた手法では、複雑なパターンの配線も FRP 中に埋め込むため、製造が困難であったり、配線が損傷の原因となるなどの問題がある。

本研究では、圧電素子として使用されている PZT を用いてより簡便に FRP の非破壊評価を行うことを目的として、ナノサイズの PZT 粒子をマトリックス中に分散させ、強化繊維であるカーボンファイバを電極として、打撃により信号を取り込み、信号と FRP の損傷やひずみとの関係を調べた。

2 実験方法

圧電材料として AE センサに使用されている PZT (C6, 富士セラミックス) を用いた。PZT は焼結・分極処理後、乾式粉碎（石川式機械粉碎）、湿式粉碎（ボールミル）を行い、平均粒径 $0.46\mu\text{m}$ の分極した粉末を得た。エポキシ系接着剤（1500, セメダイン）をアセトンで 5 倍に希釈し、PZT 粉末を混合した後、平織カーボンクロス（PAN 系、東邦テナックス）の片面に塗布し、それを電極版ではさみこみ、DC300V の電圧を負荷しながら、硬化させた。そして、カーボンクロスを 3 枚積層してエポキシ系接着剤により接着した（繊維方向はいずれも 0° -90° ）。積層板から $13\times 110\text{mm}$ の試験片を切り出し、試験片中央部の両側に長さ 3mm、径 0.5mm のノッチを施した。

試験片の第一層と第三層に銅箔電極を取り付け、負荷除荷試験を行い、モーターに取り付けたハンマーを回転させて約 5 秒に 1 回程度試験片に打撃を与え、その際に電極間で発生する圧電信号をオシロスコープに取り込んだ。測定された波形は 5kHz のローパスフィルタ処理を行い、ピーク強度、ピーク間隔、周波数などの解析を行った。

3 結果と考察

Fig.1 に打撃により得られる典型的な信号波形を示す。第 1 ピークは打撃の際に生じた試験片全体の圧縮ひずみに、第 2 ピークは引っ張りひずみに対応している。この波形は低い周波数の成分のみを取り出した結果であり、実際は高周波成分も多く含んでいるが、今回の結果は高周波成分の S/N

比が低かったため、有意なデータは得られなかった。

Fig.2 に、典型的な負荷除荷試験時の打撃により得られた信号特性の挙動を示す。Fig.2(b)に示すように第1ピークと第2ピークの間隔は、荷重の増加に伴い、短くなっており、荷重曲線とよい相関が認められた。これは、カーボクロス層が平織クロスであることから負荷前はたわんだ状態であったものが、引張応力によりたわみが減少したため、試験の固有振動数も増加したためと考えられる。この結果は、このような信号の測定により間便に試験片のひずみの測定が可能であることを示している。一方、試験片を引っ張るとポアソン効果によりカーボクロス層の間隔が狭まるため、ピーク強度が増加することが予想されたが、Fig.2(c)に示すように、負荷時にはピーク強度はむしろ低下し、負荷除荷を繰り返すに従い、増加する傾向が認められた。この結果から、FRP 中では PZT 粒子よりプラスチックの方が変形がはるかに大きいので、PZT の分極により帯電したカーボクロスの層間距離が打撃によるプラスチック層の変形により変化し、それに伴い帯電量が変化したために信号が発生しているためではないかと考えられる。帯電量の変化により信号が発生しているのであれば、負荷除荷を繰り返すに従い、層間剥離が生じたため打撃による層間距離の変化が増加し、それに伴い信号強度が増加したと考えることができる。また、負荷除荷試験により生じた FRP 中の損傷が関係している可能性もある。最後に、第1ピークに対する第2ピークの比の挙動を Fig.2(d)に示すが、ピークは負荷除荷を繰り返すに従い、低下する傾向が認められた。これは、PZT 粒子が、負荷除荷を繰り返すに従い、だげきにより引張ひずみが与えられた際に PZT 粒子とマトリックスが剥離するようになったため、第2ピークの強度が第1ピークより低下したものと考えられる。ピーク強度やピーク比については、より精度の高い実験を行うことにより、FRP 中の損傷を評価することが可能ではないかと考えている。

4. 結論

PZT 粒子をエポキシマトリックスに分散させた FRP を作製し、軽い打撃を与えることにより、カーボクロス層間に発生する信号を測定し、負荷除荷試験時の信号の挙動を調べた。その結果、第1ピークと第2ピークの間隔は荷重に対応して変化し、試験片中のひずみの測定が可能ではないかと思われる。また、負荷除荷を繰り返すに従い、ピーク強度は増加し、第1ピークに対する第2ピークの比は低下する傾向が認められ、これらは、負荷除荷試験による FRP 中の損傷の累積に対応しているのではないかとと思われる。

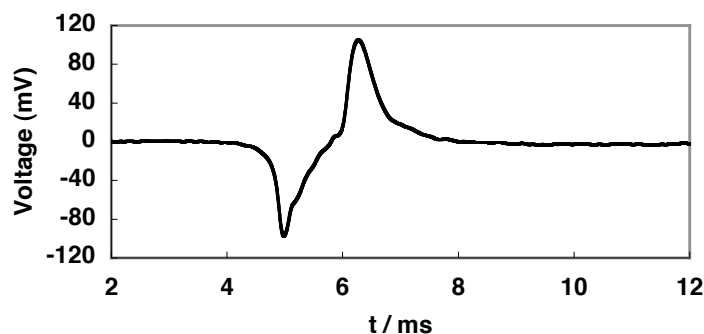
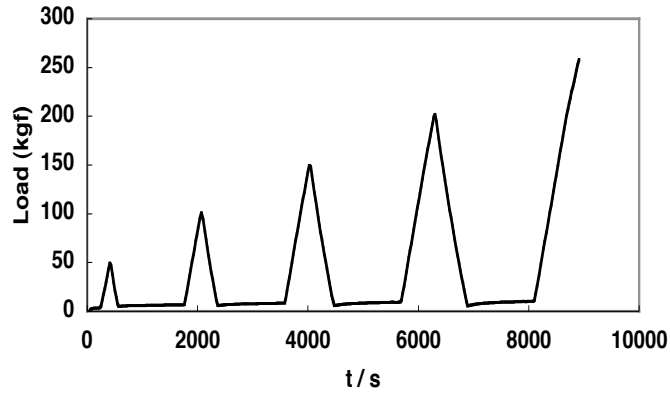
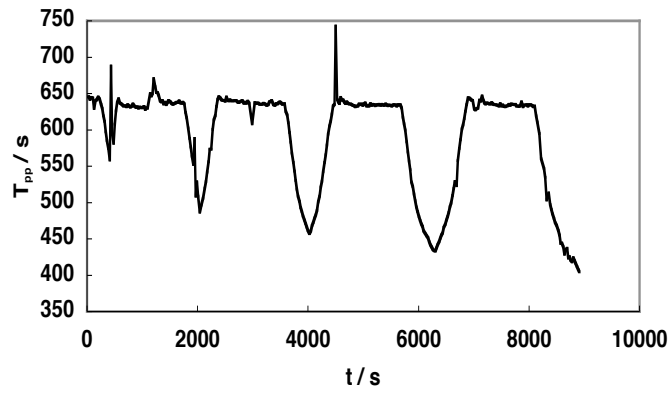


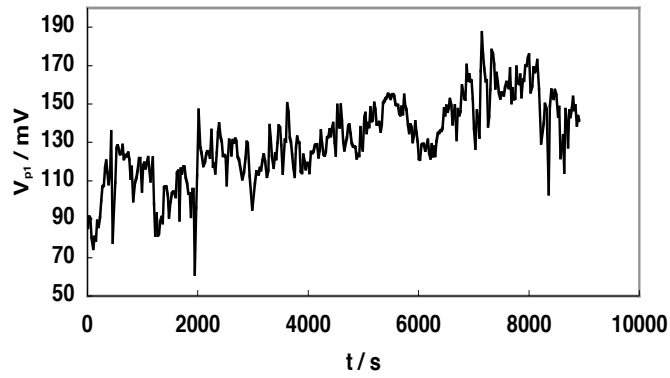
Fig. 1 Typical signal waveform obtained by hitting specimen.



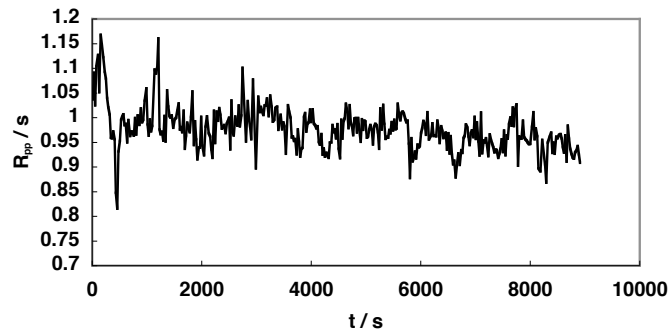
(a) Load behavior



(b) Time of peak to peak



(c) Voltage of the first peak



(d) Ratio of the second peak to the first peak

Fig. 2 Typical results of in-situ measurements of piezoelectric waveform during loading and unloading.