

橋梁モニタリング向け低消費ピエゾ式ひずみセンサの開発

オムロンソーシアルソリューションズ(株) 正会員 ○樋上智彦 正会員 西田秀志 宮木理恵
 東京工業大学 正会員 佐々木栄一 正会員 峰沢ジョージヴウルペ

1. はじめに

橋梁の劣化損傷を把握する上で、応力の計測は構造物の維持管理において重要な要素の一つである。構造物の応力測定を行なう既存技術としては「箔型ひずみゲージ」による応力計測が広く利用されているが、消費電力や耐久性など長期計測への課題がある。そこで、我々はそれらに代わる技術として低消費、長期安定性のある「ピエゾ式ひずみセンサ」を開発している。本報告では、橋梁など屋外での長期利用を目的としたピエゾ式ひずみセンサの概要と特性について示す。

2. ピエゾ式ひずみセンサの特性

ピエゾ式ひずみセンサはピエゾ(圧電)効果を利用したセンサであり、我々はPVDF(ポリフッ化ビニリデン)を用いた圧電フィルムを採用している。PVDFは強誘電体ポリマーで圧電性を有し、素子両面に電極として金属フィルムを蒸着させ使用する。圧電フィルムは外力による伸縮に対し電荷移動が起こり、電圧が生じる(図-1)。発生する電荷はひずみ量に比例する[1]ため、電荷量を計測することで箔型ひずみゲージなどと同じくひずみ計測が可能となる。また、箔型ひずみゲージと比べてセンサ自体に通電の必要がなく計測装置の省電力化が図れることから長期計測に適している。

我々が開発しているピエゾ式ひずみセンサは発生する電荷量を電圧に変換するチャージアンプ回路に接続する構成(図-2)としている。一定周波数の応力が加えられた時、発生ひずみに対する出力は(1)式となる。

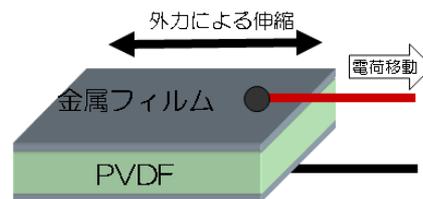


図-1 圧電フィルム概略図

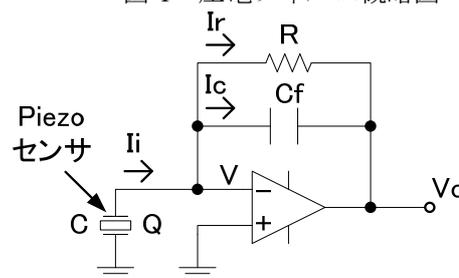


図-2 ひずみ計測回路

$$V = \frac{2\pi f R d_{31} S E \varepsilon}{\sqrt{1 + 4\pi^2 f^2 (C + C_f)^2 R^2}} \quad \dots (1)$$

d_{31} : 圧電材料で決まる延伸方向の圧電定数[C/N]
 S : 圧電フィルムの電極面積[m²], ε : ひずみ[$\mu\epsilon$]
 f : 印加周波数[Hz], E : 鋼材のヤング率[N/m²],
 C : 圧電フィルム静電容量[F], C_f : チャージアンプ静電容量[F]

3. 現地適用の課題

橋梁に適用する課題として、以下の課題が挙げられる。橋梁の点検間隔が初回は2年、その後は5年周期であることから、下記要件を満たしつつ点検期間動作させ続けることを目標にセンサモジュールを開発した。

- ①低消費電力化：橋梁の環境では、商用電源を用意することが難しい。従って、センサを動作させるにはバッテリー駆動を考慮に入れる必要がある。しかしバッテリーでは電力に限りがあるため、長期間動作には計測回路も低消費電力化する必要がある。
- ②長期信頼性：屋外環境下での長期信頼性を確保するための防塵/防水はもちろん、密閉に対する結露対策などの保護構造の検討も重要となる。
- ③設置性：橋梁内の様々な部位に設置することを想定し、サイズを小さく取り付け易くする必要がある。

キーワード 圧電フィルム, PVDF, ひずみ, センサモジュール, 低消費電力, 出力特性

連絡先 〒525-0035 滋賀県草津市西草津2丁目2-1 オムロンソーシアルソリューションズ(株) TEL077-565-7938

4. ピエゾ式ひずみセンサの設計検討結果

(1) ピエゾ式ひずみセンサモジュールの設計

- ①低消費電力化：チャージアンプ回路（電荷-電圧変換回路）／ローパスフィルタ回路（ノイズ除去回路）／ゲインアンプ（出力増幅回路）／電源回路部（駆動用電圧生成）など各機能部を有する回路を設計する上で各機能部位の消費電力見積りを行い，回路での抵抗定数の見直し／低消費オペアンプの採用／低電圧駆動化など回路の最適化を行った．結果として動作時の回路消費電流は表-1 に示すように 0.28mA であり，1500mAh の乾電池 1 本で約 200 日間の連続動作が可能となった．
- ②長期信頼性：設計した回路は図-3 の様にモジュールとして防水 BOX に格納した．防塵／防水対策のために密閉状態にすると温度差による結露が予想されたため，ベントフィルタを導入し防塵／防水性と通気性の両立を図った．それにより IP65 を担保しつつ温度による結露が発生しない構造とすることができた．
- ③設置性：サイズに関しても設置性を考慮して W125×H75×D60mm と小型化設計を行った．



図-3 ピエゾ式ひずみセンサ

表-1 計測器比較

センサ比較	方式比較	動作時電流
試作機	圧電式	0.28mA
箔型ひずみゲージ用アンプ	抵抗式	700mA

(2) ピエゾ式ひずみセンサの精度検証

試験は鋼材を試験片としてピエゾ式ひずみセンサおよび箔型ひずみゲージを貼付し，試験片に対して繰返し荷重を 1~100 $\mu\epsilon$ (1~20Hz) とするようにならせた．その時の箔型ひずみゲージで計測されたひずみ値を真値として (1) 式よりピエゾ式ひずみセンサの理論値を導出し，ピエゾ式ひずみセンサの計測された出力との比較を行った．

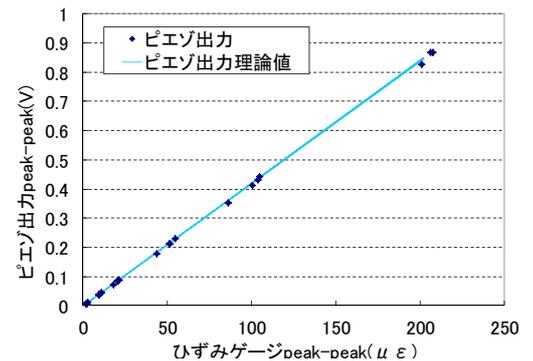


図-4 出力感度特性

結果として，理論値とピエゾ式ひずみセンサは出力感度で $\pm 2.5\%$ (図-4)，周波数特性は $\pm 4\%$ (図-5)の精度で一致することがわかった．精度のズレに関しては，鋼材のヤング率やセンサ静電容量または圧電定数のバラつきが影響していると考えられる．

5. まとめ

ピエゾ式ひずみセンサを現地へ適用するに当たって商用電源によらず，バッテリー駆動かつ実用的な精度で計測出来るシステム開発に目処を付けることができた．課題として橋梁での挙動で重要な低周波 (1Hz 以下) の計測に関して確認を行う必要がある．ピエゾ式ひずみセンサとチャージアンプ回路はハイパスフィルタを構成し，低周波領域で出力が落ち込む事が予想されるため理論値と実測値の両面から確認を行っていく．

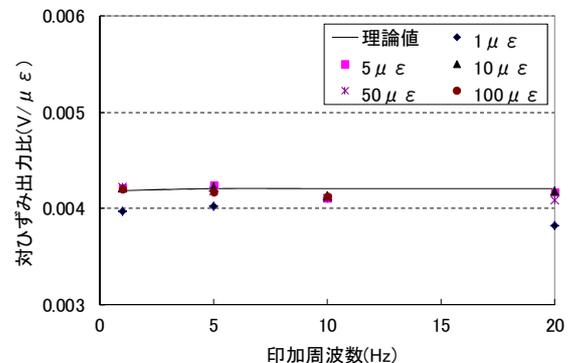


図-5 周波数特性

参考文献

[1] 勝浦啓，河合良彦，坪井守：圧電フィルムによる変動応力頻度簡易観測システムの開発（第1報），土木学会第56回年次学術講演会，pp.583-584，2001