426 ひずみ検知への圧電高分子フィルムの応用

(一定繰返し荷重下でのひずみ測定)

Application of Piezoelectric Polymer Film to Strain Detection (Strain Measurement Under the Cyclic Load)

東京高専 ○黒崎 茂

Shigeru KUROSAKI (Tokyo National Collage of Technology)

1. 緒言

圧電高分子フィルム・ポリフッカビニリデン(略称 PVDF)は、一定繰返し負荷を作用させると、一定の繰返し出力電圧を生じる。しかも出力電圧は大きいために、Fig.1 に示すように、通常のひずみゲージに比較して増幅アンプを必要としない特性を有する。筆者は、この特性を利用して、PVDF フィルムを用いたひずみゲージモデル(Fig.2, 3)を試作して、ひずみ測定を試みた。(1)(2)同時に、ひずみ解析式も導いた。(1)

本研究は上記 PVDF フィルムのひずみゲージモデルを使い、ひずみ検知が可能なことを示す。特に(1)引張り負荷、(2)面外曲げ負荷時におけるひずみ測定が可能か、実験的に調べた。同時に圧電高分子フィルムが、増幅アンプを必要としないことから知能化センサーとして、有効なことを示す。

2. PVDF フィルムの出力電圧とひずみの一般式

圧電高分子フィルムを被測定部材に貼付けた時の位置関係を Fig.4 に示す。図中に、被測定部材の(x, y)座標をとると、図中フィルム座標 (1, 2) に対応し、次式になる。

$$V(\theta) = \frac{A}{C(1+k_i^2)} \{f_1(\theta)\varepsilon_x + f_2(\theta)\varepsilon_y + f_6(\theta)\gamma_{xy}\} \quad (1)$$

ただし $f_i(\theta)$ は、フィルムの貼付角度 θ に依存する。(3)

$$\left. \begin{aligned} f_1(\theta) &= \alpha_{31} \cos^2 \theta + \alpha_{32} \sin^2 \theta \\ f_2(\theta) &= \alpha_{31} \sin^2 \theta + \alpha_{32} \cos^2 \theta \\ f_6(\theta) &= (\alpha_{31} - \alpha_{32}) \cos \theta \cdot \sin \theta \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

式 (1) が、被測定部材の($\varepsilon_x, \varepsilon_y, \gamma_{xy}$)と、圧電フィルムの出力電位 $V(\theta)$ の関係式である。ただし式中の k_i^2, α_{3i} は置き換えた。PVDF フィルムの電気容量 C 、面積 A とする。

3. ひずみゲージモデルのひずみ式 ($\varepsilon_x, \varepsilon_y$)

$\theta = 0$ と $\pi/2$ を式 (1) に代入すると次式となる。

$$V(0) = \frac{A}{C(1+k_i^2)} (\alpha_{31}\varepsilon_x + \alpha_{32}\varepsilon_y) = F_1\varepsilon_x + F_2\varepsilon_y \quad (3)$$

$$V(\pi/2) = \frac{A}{C(1+k_i^2)} (\alpha_{32}\varepsilon_x + \alpha_{31}\varepsilon_y) = F_2\varepsilon_x + F_1\varepsilon_y \quad (4)$$

ただし、以下 $V_1=V(0), V_2=V(\pi/2)$ とし、 F_1, F_2 は次式に置き換えた。

$$F_1 = \frac{A\alpha_{31}}{C(1+k_i^2)}, \quad F_2 = \frac{A\alpha_{32}}{C(1+k_i^2)} \quad (5)$$

式 (3) (4) から $\varepsilon_x, \varepsilon_y$ について解くと次式が得られる。

$$\varepsilon_x = \frac{F_1V_1 - F_2V_2}{F_1^2 - F_2^2} \quad \varepsilon_y = \frac{F_1V_2 - F_2V_1}{F_1^2 - F_2^2} \quad (6)$$

F_1, F_2 は PVDF フィルム固有の比例定数である。あらかじめ

め求めておき、 V_1, V_2 を測定する事により $\varepsilon_x, \varepsilon_y$ を求めることができる。

PVDF film gage
(a) Measuring system by using PVDF film

Strain gage Amp Oscilloscope
(b) Measuring system by using strain gage

Fig.1 Compare of measuring systems

Fig.2 Photograph of PVDF film gage

Fig.3 Dimension of PVDF film gage

Fig.4 Coordinate of PVDF film

Fig.5 Applied load for measuring strain

4. 繰返し引張負荷試験 (試験片および実験結果)

Fig.6, 7, 8 の試験片に(1)半円縁切り欠きと(2)中央円孔を挿入した試験片を用意した。試験片には、一定繰返し荷重を容量 10tonf 疲労試験機でかけた。PVDF の出力電圧は、オシロスコープで測定した。Fig.9 に円孔縁切り欠き試験片の実験結果、Fig.10 に中央円孔帯板試験片の実験結果を示した。

Fig.6 Test specimen

Fig.7 PVDF film on the half circular edged plate specimen

Fig.8 PVDF film on the center holed plate specimen

Fig.9 Strain vs. Gage position (Half circular edged plate)

Fig.10 Strain vs. gage position (Center holed plate specimen)

両者とも振幅荷重 2kN、周波数 10Hz の条件の PVDF ゲージ、ひずみゲージそして理論値 (Fig.7 は半無限板中の弾性理論解) のひずみ値を示す。3 者とも近い値が得られている。

5. 繰返し面外曲げ試験 (試験片および実験結果)

Fig.11, 12 は板厚 5.5mm、幅 75mm の帯板で、面外 4 点曲げとして実験を行った。PVDF ゲージを Fig.12 に示すように貼り付け、裏側の同位置にひずみゲージを貼り付けた。

試験片は、容量 1tonf の疲労試験機に取付け P_{ave} で圧縮荷重を加え P_{amp} で一定の繰返し 4 点曲げ荷重をかけた。出力電圧の測定は、PVDF から得られた出力電圧を、フィルタを介してオシロスコープで測定した。PVDF ゲージ、ひずみゲージそして理論値 (無限板中の弾性理論解) のひずみ値を示す。3 者とも近い値が得られている。

6. 結 言

圧電高分子フィルムを用いて、繰返し負荷時での(1)引張り荷重下のひずみ測定と(2) 面外曲げ荷重下での帯板中央円孔試験片のひずみ測定を行った。その結果、本研究での提案したひずみ解析法の有効性が示された。同時にひずみ検知できる知能化センサーとなりうることを示された。(参考文献略)

Fig.11 Plate bending out of plane with center circular hole

Fig.12 Test specimen of the plate with center circular hole

Fig.13 Compare between experiments and theory (ϵ_x : plate with circular hole)