

平成 22 年 6 月 1 日現在

研究種目：若手研究（B）  
研究期間：2008～2009  
課題番号：20710131  
研究課題名（和文） ピエゾフィルムを用いた接着構造物の破壊予測モニタリングに関する基礎的研究  
研究課題名（英文） Fundamental Research on Fracture Prediction Monitoring of Adhesive Bonded Structure using PVDF Film.  
研究代表者  
志村 穰 (SHIMURA JY0)  
東京工業高等専門学校・機械工学科・助教  
研究者番号：70390424

## 研究成果の概要（和文）：

圧電高分子フィルムには、動的負荷に対する高出力電圧・出力電圧の線形性・寸法形状の柔軟性等の特長が挙げられ、電源および増幅アンプが不要なセンサとして利用できるメリットがある。そこで本研究では、接着接合部付近のひずみ分布をひずみゲージ及び PVDF フィルムで測定し、両者の比較を行った。また、PVDF フィルム貼付用の接着剤としてエポキシ系接着剤と導電性接着剤を取り上げ、測定精度に及ぼす影響を調べた。

## 研究成果の概要（英文）：

PVDF films have features of high output voltage, linearity for dynamic loads, and flexibility that the film geometry can be changed freely. The film is available as a sensor with neither power sources nor amplifiers. In this study, the strain distribution near adhesive interfaces is measured in the two following methods—one with PVDF films and the other with strain gauges—for comparison. The effect on measurement accuracy is investigated both by epoxy adhesive and conductive adhesive as glue on the joint specimen. As a result, the strain measurement method using PVDF films was also applicable in joining problem by adhesive, and it was proved that the tendency of strain distribution measured with PVDF films bonded by conductive adhesive is similar to that measured with strain gauges.

## 交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2008年度	2,200,000	660,000	2,860,000
2009年度	700,000	210,000	910,000
年度			
年度			
年度			
総計	2,900,000	870,000	3,770,000

研究分野：複合新領域

科研費の分科・細目：社会・安全システム科学、社会システム工学・安全システム

キーワード：ピエゾフィルム、接着接合、ひずみ測定

1. 研究開始当初の背景

近年、構造物の耐震偽装や航空機の杜撰な管理など、構造物としての安全性が問題視されている。このような構造物に地震や突発的で過大な荷重が作用した場合、人命に関わる事故が発生することは想像に難くない。こういった背景を踏まえ、構造物の安全性や健全度をモニタリングすることは非常に重要なことと考えられる。

本提案研究は piezofilm を用いて、構造物の安全性保持のためのひずみモニタリング技術を開発することが目標である。本研究の大きな特徴として、piezofilm をセンサとして利用し、これを接着構造物に適用するところにある。圧電材料は自己発生電圧が高く、電源および増幅アンプを必要としない。そのため、安価で手軽なセンサとして多箇所に取り付け、安全性確保のための破壊予測モニタリングが可能となる。

2. 研究の目的

圧電高分子フィルム(ポリフッカビニリデン、略称: PVDF, 以下、PVDF フィルムと記す)は圧電性を有するため、発生電圧が非常に大きく、電源を必要としない。このため、増幅アンプ不要という利点が生じ、測定対象物のひずみを直接検知できるセンサとして活用できる。従来の PVDF フィルムを使用したひずみ測定の研究は Lee、勝見、黒崎等が取り組んでいる。勝見らは片面電極付フィルムを用いてフィルムの発生電位を非接触電位計により計測することに成功している。黒崎らは勝見らのような非接触電位計を用いず、PVDF フィルムを応力集中部に貼り付け、出力電圧を取り出す簡易的な方法を提案している。本研究では、黒崎らの手法に倣い、接着接合部付近のひずみ分布を両面電極付 PVDF フィルムおよびひずみゲージで測定し、両者の比較を行うことで、本手法の接合問題への適用可能性を検証した。また、PVDF フィルム貼り付け用の接着剤としてエポキシ系接着剤と導電性接着剤を取り上げ、測定精度に及ぼす影響を調べた。

3. 研究の方法

(1) PVDF フィルムの出力電圧測定

本研究で用いた荷重方式は Fig.1 に示すように、平均荷重( $P_{ave}$ )を一定とし、荷重振幅( $P_{amp}$ )を変化させ、一定周期の繰り返し荷重を作用させる。その際の PVDF フィルムの出力電圧を測定し、次節に示すひずみ解析式により、ひずみ値に換算する。なお、PVDF フィルムの出力電圧はノイズの影響を除去するため、フィルタ(NF 製 E-3201B)

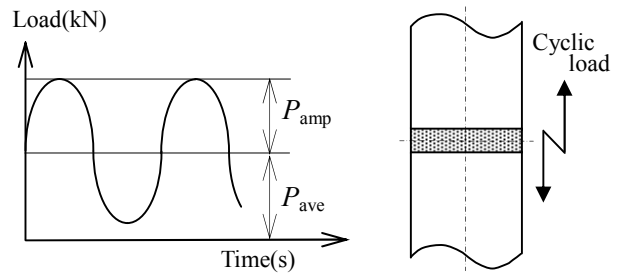


Fig.1 Cyclic loads for strain measurement.

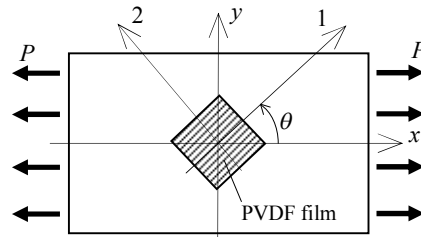


Fig.2 PVDF film bonded on specimen.

を通してオシロスコープ(kenwood CS5450)で測定した。

(2) PVDF フィルムによるひずみ解析

本研究で用いた両面電極付 PVDF フィルムのひずみ解析式は黒崎らが提案した下記を用いた。

$$V_{(\theta)} = \frac{A}{C(1+k_i^2)} \{ f_{1(\theta)} \cdot \varepsilon_x + f_{2(\theta)} \cdot \varepsilon_y + f_{6(\theta)} \cdot \gamma_{xy} \}$$

$$\left. \begin{aligned} f_{1(\theta)} &= \alpha_{31} \cos^2 \theta + \alpha_{32} \sin^2 \theta \\ f_{2(\theta)} &= \alpha_{31} \sin^2 \theta + \alpha_{32} \cos^2 \theta \\ f_{6(\theta)} &= 2(\alpha_{31} - \alpha_{32}) \cos \theta \cdot \sin \theta \end{aligned} \right\}$$

ただし、 $\varepsilon_x, \varepsilon_y, \gamma_{xy}$ : Fig.2 中の  $x, y$  方向のひずみ成分、 $C$ :電気容量、 $k_i$ : 電気機械結合定数、 $A$ : 電極面積、 $\theta$ : PVDF フィルムの貼り付け角度である。 $\alpha_{31}, \alpha_{32}$  と  $k_i$  は圧電定数マトリックス  $e$  と弾性係数マトリックス  $E$  の成分で次式のように表される。

$$\alpha_{3i} = e_{3i} - \frac{e_{33}}{E_{33}} E_{3i} \quad (i = 1, 2, 6)$$

$V_{(0)} = V_1, V_{(\pi/2)} = V_2$  とし、材料のポアソン比を  $\nu$  とすると出力電圧とひずみの関係は次式となる。 $k_x, k_y$  は Fig.3 に示す直線の傾きである。

$$V_1 = (F_1 - \nu \cdot F_2) \cdot \varepsilon_x = k_x \cdot \varepsilon_x$$

$$V_2 = (F_2 - \nu \cdot F_1) \cdot \varepsilon_x = k_y \cdot \varepsilon_x$$

連立方程式を  $F$  と  $k$  について解くと次式が求まる。

$$F_1 = \frac{k_x + \nu \cdot k_y}{1 - \nu^2} \quad F_2 = \frac{k_y + \nu \cdot k_x}{1 - \nu^2}$$

同様に  $\varepsilon$  と  $V$  について解くと次式が求まる。式中の  $k_x, k_y$  は(3)に示す予備実験で求めておく。

$$\varepsilon_x = \frac{F_1 \cdot V_1 - F_2 \cdot V_2}{F_1^2 - F_2^2} \quad \varepsilon_y = \frac{F_1 \cdot V_2 - F_2 \cdot V_1}{F_1^2 - F_2^2}$$

### (3) $k_x, k_y$ の測定

Fig.3 に示すように、アルミニウム合金の平板に 1 軸方向および 2 軸方向の PVDF フィルム(ここでは、主応力方向が 1 軸方向に一致、すなわち  $\theta = 0$ ) にそれぞれ  $3 \times 3(\text{mm}^2)$  の導電テープを貼付したものと、ひずみゲージ(共和電業、KFG-1-120-C1-11L1M2R)を貼り付けた。PVDF フィルムには繰り返し負荷を与え、出力電圧の測定を行った。容量 100(kN) の電気油圧サーボ式疲労試験機を用い、負荷周波数を 10(Hz) で固定しつつ繰り返し負荷を 0.25~1.5(kN) に変化させて測定を行った。

### (4) 突き合わせ接着接合試験片のひずみ測定

Fig.4 に突き合わせ接着接合試験片の寸法および形状を示す。試験片の材質はアルミニウム合金 A6063 であり、接合面をサンドペーパーで研磨後、アセトンで脱脂・洗浄し、強力瞬間接着剤(LOCTITE、高強度金属用プロユースタイプ)を塗布して接着接合した。接着層厚さは 0.1mm であり、試験片完成時の寸法は  $560.1 \times 50 \times 5\text{mm}$  となる。接着界面に沿って、両面電極付 PVDF フィルム( $4 \times 4\text{mm}^2$ ) をエポキシ系接着剤で貼付し、さらにその上に導電テープ( $3 \times 3\text{mm}^2$ ) を貼り付けることによりそれぞれの PVDF フィルムからの出力電圧を検出した。なお、PVDF フィルムは 1mm 間隔で 6 枚配置している。接着層を挟んで PVDF フィルムと対応する位置にひずみゲージを貼付し、ひずみ分布を測定した。

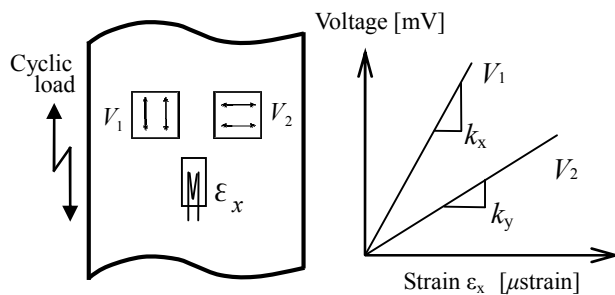


Fig.3 Calculation of  $k_x, k_y$

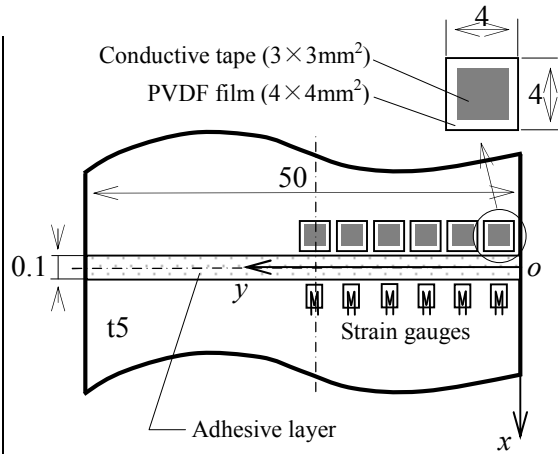


Fig.4 geometry and dimensions of adhesive butt specimen.

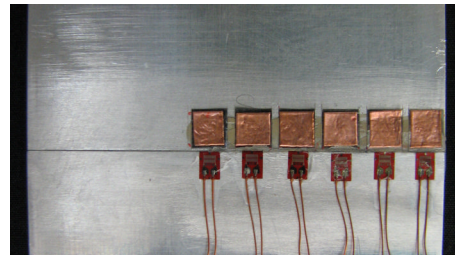


Fig.5 Photograph of joint specimen.

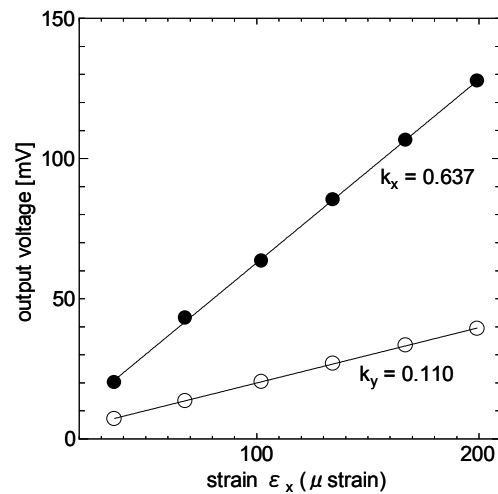


Fig.6 Comparisons of strain distribution.

## 4. 研究成果

### (1) $k_x, k_y$ の測定結果

Fig.6 に PVDF フィルムの出力電圧とひずみゲージによるひずみ値の関係、すなわち、Fig.3 における  $k_x, k_y$  を示す。PVDF フィルムの出力電圧とひずみ値には極めて良好な線形性が見られた。また、フィルムの圧延方向が荷重方向に一致した出力電圧  $V_1$  において、より高い値を示している。この結果をもとに  $k_x, k_y$  を算出したところ  $k_x = 0.673, k_y = 0.110 (\text{mV}/\mu\text{strain})$  となった。

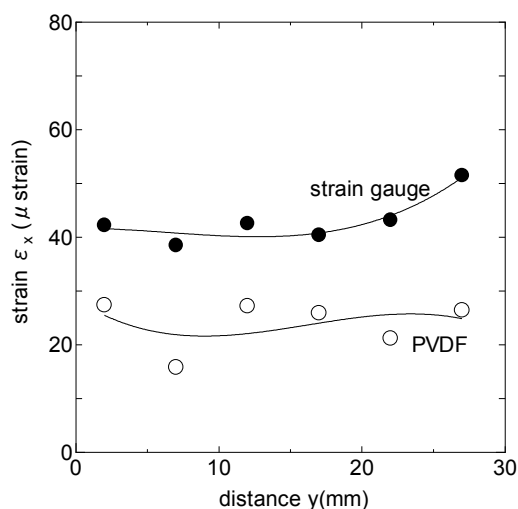
(2) 突き合わせ接着接合試験片のひずみ測定結果

①PVDF フィルムをエポキシ系接着剤で貼付した場合

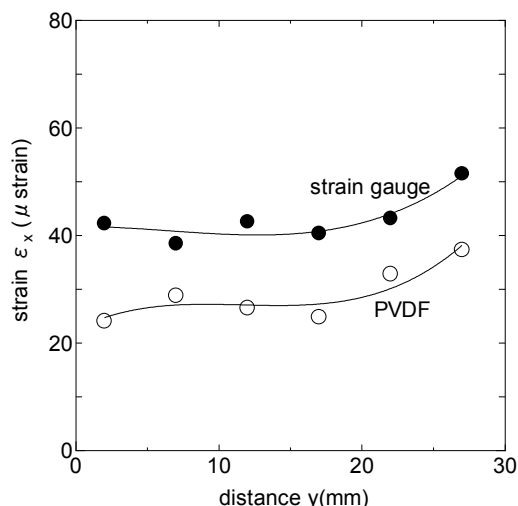
算出した  $k_x, k_y$  およびひずみ解析式からひずみ値を算出した。ここでは、 $\epsilon_x$  の分布を Fig.7(a)に示す。PVDF フィルムの各点のひずみ値はひずみゲージのそれに対して小さく、ばらつきが大きくなっている。

②PVDF フィルムを導電性接着剤で貼付した場合

Fig.7(b)に導電性接着剤を用いて PVDF フィルムを貼付した際のひずみ分布を示す。Fig.7(a)と同様にひずみ値は PVDF の方が小さいが、ひずみ分布の傾向が一致していることがわかる。



(a) Case where PVDF films bonded by epoxy adhesive.



(b) Case where PVDF films bonded by conductive adhesive.

Fig.7 Comparisons of strain distribution.

(3) 結言

本研究では、接着接合部付近のひずみ分布を両面電極付 PVDF フィルムおよびひずみゲージで測定し、両者の比較を行うことで本手法の接合問題への適用可能性を検証した。その結果、以下の結論が得られた。

- ①接着接合問題において、本手法によるひずみ測定の可能性を示した。
- ②PVDF フィルムの貼付に導電性接着剤を用いることで測定精度の向上が期待できる。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 0 件)

[学会発表] (計 2 件)

- ①志村 穰、黒崎 茂、鈴木拓雄、圧電高分子フィルムを用いた接着接合要素のひずみ測定に関する研究、第 41 回応力・ひずみ測定と強度評価シンポジウム、2010 年 1 月 9 日、大田区産業プラザ(PiO).
- ②志村 穰、黒崎 茂、宮川睦巳、圧電高分子フィルムを用いた接着構造物のひずみ測定に関する研究、山梨講演会、2009 年 10 月 24 日、山梨大学工学部.

[図書] (計 0 件)

[産業財産権]

○出願状況 (計 0 件)

○取得状況 (計 0 件)

6. 研究組織

(1) 研究代表者

志村 穰 (SHIMURA JYO)

東京工業高等専門学校・機械工学科・助教  
研究者番号：70390424