

機関番号：52601
 研究種目：基盤研究（C）
 研究期間：2008～2010
 課題番号：20510165
 研究課題名（和文） 試作ピエゾセンサーを用いた道路橋の落橋防止のための構造健全性
 モニタリング
 研究課題名（英文） The Structural Health Monitoring for Protection on the Break
 of the Load Bridge with Developed Piezo Sensor.
 研究代表者
 黒崎 茂（KUROSAKI SHIGERU）
 東京工業高等専門学校・機械工学科・教授
 研究者番号：70042710

研究成果の概要（和文）：

外部から力を作用させることにより、自ら大きな出力電圧を生ずるピエゾ素子を用いた変位計を開発し、その性能評価を行った。開発した試作ピエゾ変位センサーを、橋梁モデルに取り付け加振して実験を行った。その結果、橋梁モデルの取り付け部の変位精度が、十分実用的に満足できる精度で得られた。本開発センサーは、ピエゾ素子を使用していることから、停電等の電源供給が無くとも、十分機能を果たすことができる。このため地震等での活用が期待される。

研究成果の概要（英文）：

The piezo element produces personally large output voltage by the work of the force from the outside. So we developed the displacement gage using the piezo element, and the performance evaluation was carried out.

In installing developed trial manufacture piezo displacement sensor in the bridge model, we shook it, the experiment was carried out. As the result, displacement accuracy of the mounting division of the bridge model was obtained at the accuracy which could be satisfied enough practically. It is possible to fulfill the sufficient function, even if power supply disappears on this development sensor in the power cut, since the piezo element is used. Therefore, it can be effectively utilized, when the power supply stopped, as the earthquake occurred.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2008年度	600,000	180,000	780,000
2009年度	2,200,000	660,000	2,860,000
2010年度	600,000	180,000	780,000
年度			
年度			
総計	3,400,000	1,020,000	4,420,000

研究分野：非破壊検査

科研費の分科・細目：分科：社会・安全システム科学,

細目：社会システム工学・安全システム

キーワード：非破壊検査、モニタリング、ピエゾ素子、応力・ひずみ測定、変位測定、落橋、

1. 研究開始当初の背景

米国ミネアポリスの道路橋が崩落した事故があった。日本でも同様な事故の可能性が考えられた。そこで大型構造物の破壊事故を未然に防ぐために、よいセンサーはないものかと考えた。そこでたどり着いたのが、我々が研究で使用している圧電素子に着目した。

地震などが発生したときに一番問題なのは、供給電源が無くなることである。先の東北関東大震災でも停電問題が浮上している。

圧電素子は、加振されると自ら大きな出力電圧を発生するために外部電源を必要としない特徴がある。そこで高分子系 piezo 素子を利用して、変位センサーができないか、同時にひずみ測定もできないかという着想にたどり着いた。

橋梁等の大型構造物が、地震等で振動した場合、電源がなくても働く piezo 素子は、センサーには、貴重な素材であることに気が付いた。

2. 研究の目的

橋梁等の大型構造物の落橋を防ぐための新たなセンサーを考える。その際、電源の供給が無くても働くような piezo センサーを使用することを考える。大きく分けて、(1) 変位センサーと (2) ひずみセンサーを開発する。

(1) piezo ケーブル利用の変位センサー

- ① 高分子系 piezo フィルム (ポリフッ化ビニリデン PVDF) を素線に巻き付けた piezo ケーブルを使い変位計を試作し、その評価を行う。
- ② 橋梁モデルを製作して、模擬実験により、試作変位計の有効性を実験から調べる。

(2) piezo ケーブル利用のひずみセンサー

- ① piezo ケーブルを使いひずみセンサーを試作する。試作ひずみセンサーの精度を検証する。
- ② 試作 piezo ケーブルひずみセンサーを使い、ひずみ測定法を開発する。

3. 研究の方法

上記で示した研究目的を成就するための方法を以下に示す。

(1) piezo ケーブル利用の変位センサー

piezo ケーブルを利用した変位計の試作は、以下の方法で行った。

- ① piezo ケーブル (図 1 参照) の伸縮量と出力電圧との関係を実験で調べる。
- ② ケーブルの伸縮量と出力電圧とが線形の領域となるように、コイルばねの中にケーブル線を挿入する。(図 2, 3 参照)

③ 2 個の L 型フレームを相対して置き、上記コイルばねと piezo ケーブルをそれぞれの端に取り付ける。

④ 両 L 型フレーム間の変位量を、コイルばねに挿入した piezo ケーブルの伸縮量で測定する。

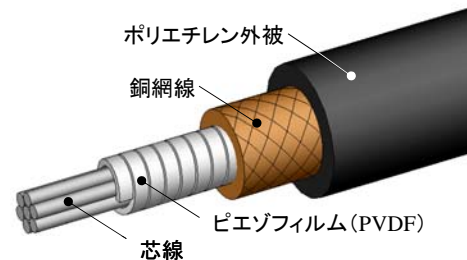


図 1 piezo ケーブル構造図

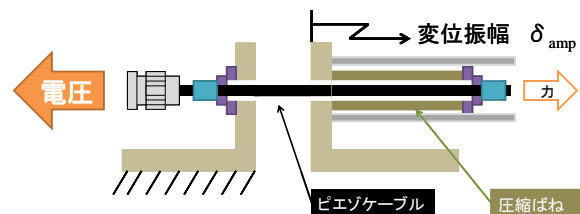


図 2. 試作 piezo ケーブルセンサー模式図

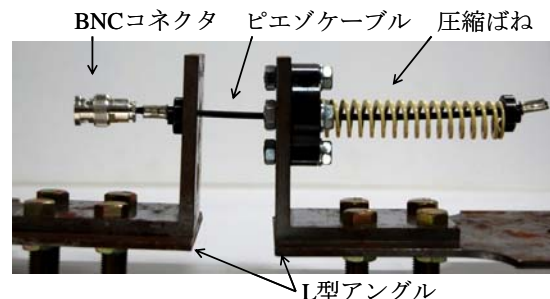


図 3. 試作 piezo ケーブルセンサー写真

⑤ 橋梁モデルを製作し、実際に試作 piezo ケーブルセンサーを取り付け、油圧加振機 (容量 10kN) で加振して実験を行う。

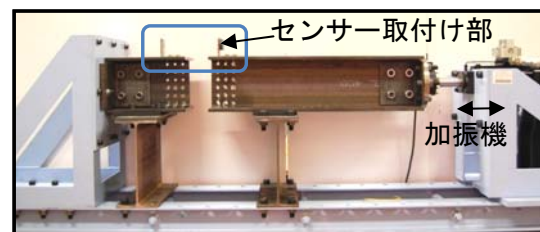
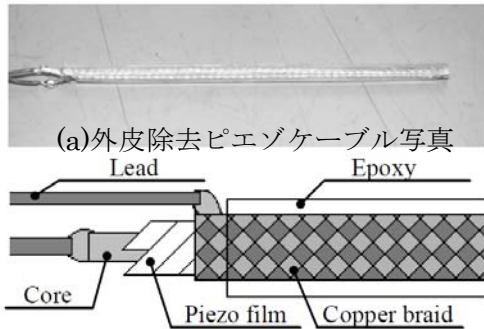


図 4. 橋梁モデルと試作センサー取付け図

(2) ピエゾケーブル利用のひずみセンサーは、以下の方法で試作と評価試験を実施する。

- ① ピエゾケーブルにエポキシ樹脂を封入し剛性を保たせたセンサーを試作する。(図5(a), (b)参照)
- ② 被測定物に上記で製作したフィルムセンサーを取り付ける。
- ③ 試験機で加振して、ピエゾセンサーの出力電圧を計測する。
- ④ 計測した出力電圧からひずみ量を計算する。



(b) エポキシ樹脂封入ピエゾケーブル構造
図5 ピエゾケーブル利用ひずみセンサーの構造図

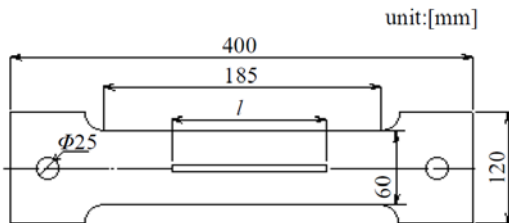


図6 試作ひずみセンサー取付け試験片

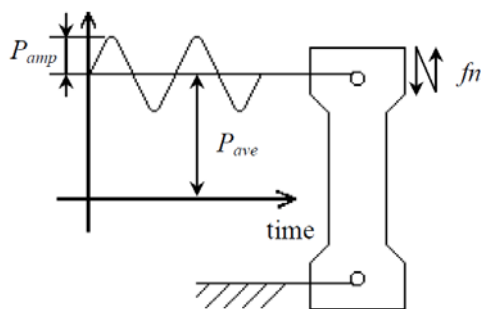


図7 試作センサー取付け試験片の繰返し負荷試験図

4. 研究成果

(1) ピエゾケーブル利用の変位センサー

- ① 図2, 3で示した試作変位センサーの実験結果の基礎データ図を図8に示す。ピエゾケーブルの出力電圧と変位振幅量が線形の関係を示していることがわかる。

この関係を利用する事により、橋梁の継手変位をモニターすることが可能である。

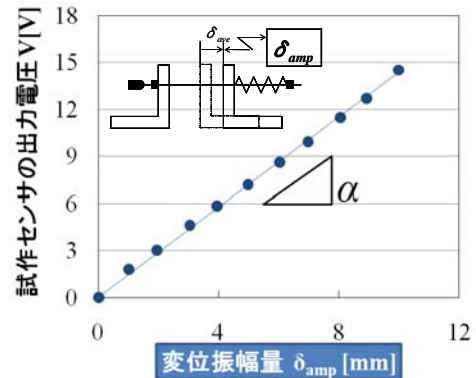


図8 試作変位センサーの変位振幅量と出力電圧の関係 (基礎データ)

- ② 試作センサーとして、図4に示す橋梁モデルの橋梁部材間の変位を測定した。精度も真値に対して10%以内で得られ、実用化に対して十分な精度であることがわかった。このことから老朽化した橋梁の橋桁間の変位を本試作センサーでモニタリングすることにより橋梁の落橋事故を未然に防ぐことが可能である。

(2) ピエゾケーブル利用のひずみセンサー

図5で示した試作ひずみセンサーを図6に示した試験片に取付け、繰返し負荷試験を行った結果を図9に示す。

図9の横軸は、試験片に加える繰返し応力 σ_{amp} ($=P_{amp}/A$) であり、縦軸は、ピエゾケーブルの出力電圧である。試験片に作用する加振周波数によるが、両者の関係は、比例関係になっている。このことから被測定材料が弾性範囲 ($\sigma = E \epsilon$) で繰返し負荷を受ける場合、試作ひずみセンサーを使いひずみ測定が、可能であることがわかる。

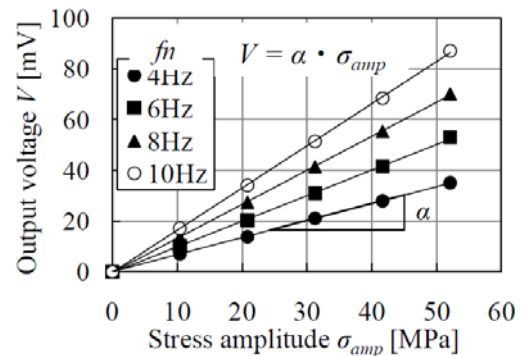


図9 試験片への繰返し負荷振幅 (σ_{amp}) と試作ひずみセンサーの出力電圧の関係

(3) 試作した両センサーの研究成果から得られたこと

日本の多くの老朽化した道路橋の安全性を考えた時、本研究で試作したピエゾケーブルセンサーを取り付けることにより、橋梁の安全性モニタリングに少しでも寄与することが可能である。すなわち、老朽化に伴い疲労き裂が生じている部材間の変位量を、本研究で試作したセンサーで、変位モニター、もしくは、ひずみモニターすることにより、異常を察知して安全性を保持できると考えられる。

試作センサーの大きな特徴として、本試作センサーは、ピエゾ素子を使用しているために、電源を必要としない長所がある。力を作用すると、自ら出力電圧を生ずる利点がある。このことから、電力供給が STOP した場合でも、センサーとしての役割は十分果たすことができる。

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 5 件)

① 黒崎茂, 齋藤久嘉, 志村穰

ピエゾケーブルを用いた一定繰返し荷重による動ひずみ検出法 (第 1 報 ケーブルからの直接電圧測定法)
非破壊検査協会誌・非破壊検査、査読有
Vol. 59, 2010, pp. 272~276

② 黒崎茂

高分子圧電フィルムを用いたひずみ測定法
非破壊検査協会誌・非破壊検査、査読有
Vol. 59, 2010, pp. 318~323

③ 黒崎茂, 齋藤久嘉, 志村穰

ピエゾケーブルを用いた一定繰返し荷重による動ひずみ検出法について
非破壊検査学術誌・検査技術、査読有
Vol. 16, 2011, pp. 20~26

④ 中川裕斗, 北山三也, 黒崎茂

応力聴診器によるひずみ分布データからニューラルネットワークを利用した欠陥検出の試み
東京工業高等専門学校研究報告書、
Vol. 42, No. 1, 2010, pp 57-60 査読無

⑤ 北山光也, 白倉潤, Idris Ariff,

黒崎茂

ひずみ応答を用いた衝撃荷重同定に関する研究
東京工業高等専門学校研究報告書、
Vol. 42, No. 2, 2010, pp91-94 査読無

[学会発表] (計 10 件)

① 藤本裕史, 黒崎茂, 志村 穰

ピエゾケーブルを用いた変位検出センサーの試作と性能評価(第 2 報・橋梁簡易モデルへの適用)

日本非破壊検査協会・第 42 回応力ひずみ測定と強度評価シンポジウム

2011 年 1 月 20 日

東京都大田区産業プラザ

② 熊谷拓補, 黒崎茂

圧電材料を用いたひずみ検出用センサーの試作

日本非破壊検査協会・第 42 回応力・ひずみ測定と強度評価シンポジウム

2011 年 1 月 20 日

東京都大田区産業プラザ

③ 西村大希, 黒崎茂, 上原利夫

ピエゾフィルムを用いたひずみゲージの試作と静ひずみ測定法

日本非破壊検査協会・第 42 回応力・ひずみ測定と強度評価シンポジウム

2011 年 1 月 20 日

東京都大田区産業プラザ

④ 黒崎茂, 有田克也, 西村大希,

上原利夫, ズルファズリ

高分子圧電フィルムを用いた曲げひずみ測定法

日本非破壊検査協会・第 42 回応力・ひずみ測定と強度評価シンポジウム

2011 年 1 月 20 日

東京都大田区産業プラザ

⑤ 藤本裕史, 黒崎茂

ピエゾケーブルを用いた変位検出センサーの試作と性能評価

日本機械学会・M&M2010 材料力学カンファレンス

2010 年 10 月 10 日

長岡技術科学大学

⑥ 熊谷拓補, 黒崎茂

圧電材料を用いたひずみ検出用センサーの試作

日本機械学会・M&M2010 材料力学カンファレンス

2010 年 10 月 10 日

長岡技術科学大学

⑦ 台場美穂, 黒崎茂

超高入力インピーダンス接触型表面電位計を利用した高分子圧電フィルムによる静ひずみ測定法

日本非破壊検査協会平成 22 年春季大会
2010 年 5 月 25 日
東京都・市ヶ谷、私学会館

⑧熊谷拓甫, 黒崎茂
ピエゾケーブルを用いたひずみ検出法
日本非破壊検査協会・H21 年度春季大会
講演会
2009 年 5 月 23 日
東京都・市ヶ谷、私学会館

⑨藤本裕史, 黒崎茂
ピエゾケーブルを用いた変位検出セン
サーの試作と性能評価
日本機械学会 2009 年度年次大会講演
2009 年 9 月 16 日
岩手大学

⑩藤本裕史, 黒崎茂
ピエゾケーブルを用いた変位検出セン
サーの試作と性能評価 (第 1 報)
日本非破壊検査協会・応力ひずみと強度
評価シンポジウム講演会
2010 年 1 月 18 日
東京都・市ヶ谷、私学会館

6. 研究組織

(1) 研究代表者

黒崎 茂 (KUROSAKI SHIGERU)
東京工業高等専門学校・機械工学科・教授
研究者番号：70042710

(2) 研究分担者

斉藤 純夫 (SAITO SUMIO)
東京工業高等専門学校・機械工学科・教授
研究者番号：90413749

清水 昭博 (SHIMIZU AKIHIRO)
東京工業高等専門学校機械工学科・准教授
研究者番号：90149914

志村 穰 (SHIMURA JYOU)
東京工業高等専門学校・機械工学科・助教
研究者番号：70390424

(3) 研究協力者

高尾 寛 (TAKAO HIROSHI)
共和電業株式会社