

# 圧電素子を用いた疲労損傷度モニタリングシステムの開発

法政大学大学院	学生会員	秋山 慎一郎
法政大学	正会員	森 猛
法政大学		濱田 榮

## 1. はじめに

一般に疲労照査は、設計供用期間内に着目部に生じる応力の変動履歴を応力範囲頻度分布として捉え、それを着目部の疲労強度と比較することによって行われる。具体的には、マイナー則や修正マイナー則などの線形累積被害則を適用し、以下のように行われるのが一般的である。

$$\sum(\Delta\sigma_i^3 \cdot n_i) \leq C_o$$

{

$\Delta\sigma_i$  : 応力範囲頻度分布を構成する応力範囲成分  
 $n_i$  :  $\Delta\sigma_i$ の頻度  
 $C_o$  : 疲労強度等級を表すための定数



写真1 圧電素子

したがって、疲労損傷度と呼ばれる  $[\sum(\Delta\sigma_i^3 \cdot n_i)]$  をモニターできれば、疲労に対して鋼橋がどのような状態にあるのかを把握することができ、適切な点検時期の判断に有用な情報となる。疲労損傷度は、着目部に貼付したひずみゲージの出力をヒストグラムレコーダで解析して得られる応力範囲頻度分布をもとに求められる。しかし、この方法では電源や比較的大型の装置が必要となり、長期間のモニタリングには適さない。そこで、変形に応じて自ら発電する圧電素子(写真1)をセンサとして用いることで、電力の供給を必要としないモニタリング装置を開発することを考えた。

ここでは、このようなシステムを構成するために必要な、圧電素子によるひずみ測定の可能性と応力範囲頻度解析システムについて検討した結果を報告する。

## 2. 目標とするモニタリングシステムの構成

本システムの構成を図1に示す。まず、圧電素子の変形することによって発生した電圧をモニタリング装置内の積分回路でひずみに対応した波に変換する。その電圧の波を、加算回路と信号増幅回路を通して、増幅する。このようにして得られたアナログ波形をA/D変換する。このデジタル波形をCPUで応力範囲頻度分布に変換する。そして応力範囲頻度分布を内部メモリに保存する。なお、応力範囲頻度の解析にはレインフロー法を用いている。メモリに保存した応力範囲頻度分布を、RS232Cを介して無線で必要に応じてパソコンに転送し、パソコンで疲労損傷度の計算を行う。この装置のサイズは、狭隘なスペースにも対応できるように10×15×3cm程度を考えている。また、すべてを自動で駆動させるために一次電池には太陽電池を使用し、二次電池には乾電池型充電電池を用いる。図2に目標とするモニタリングシステムの概略図を示す。

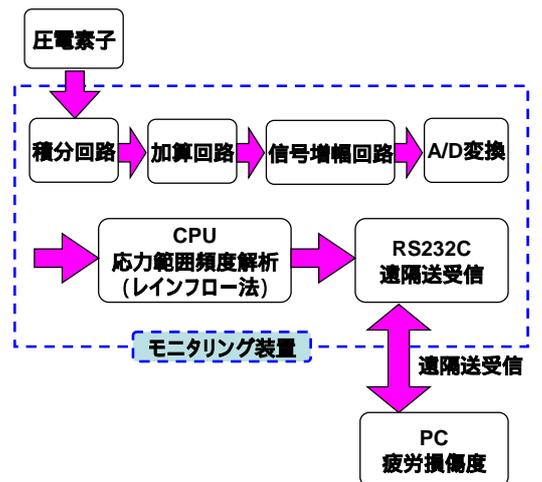


図1 装置回路構成図

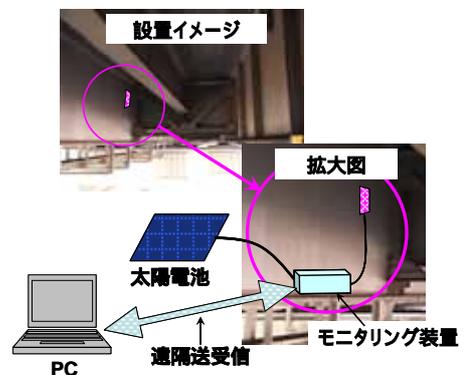


図2 システム概略図

キーワード 疲労損傷度, 応力範囲頻度分布, 圧電素子, チャージアップ, 換算率

連絡先 〒162-0843 東京都新宿区市谷田町 2-33 法政大学大学院デザイン工学研究科 TEL:03-5228-1429

### 3 圧電素子によるひずみ測定の可能性

板厚 9 mm, 板幅 80 mm の試験体 (図 3) に圧電素子とひずみゲージを貼付し, 丸東製作所製の油圧サーボ式材料試験機を用いて繰り返し荷重試験を行った. 荷重波形は正弦波, 荷重範囲は 27, 54kN (応力範囲 37.5, 75.0N/mm<sup>2</sup>) の 2 パターンである. 周波数は 0.1 から 10Hz とし, サンプリング周波数は 200Hz とした.

圧電素子は, 変形の変動量に応じて電圧を発生する特性を有するため, ひずみ値そのものを測定することは難しい. そのため, 積分回路が必要になるとともに, 蓄電 (チャージアップ) に対する対処も必要となる. ここでは, 積分回路の積分間隔に相当する時定数 (3Hz) を決定するためのコンデンサー容量 (0.15 μF) と抵抗値 (30 Ω), そしてチャージアップの防止を目的として電荷放出のための抵抗値 (10M Ω) を試行錯誤により決定した.

図 4 は, 信号増幅回路を通した後の電圧から求めたひずみ波形とひずみゲージによるひずみ波形を比較したものである. 図 4 では測定電圧がひずみゲージのピーク時の出力と同等になるように補正しているが, 圧電素子はひずみゲージによるひずみ波形をよく再現している. また, チャージアップ現象も認められない. 図 5 は, ひずみゲージで求めたひずみ値と圧電素子による電圧の比 (換算率) を示している. 繰り返し速度 0.1Hz で換算率が若干高くなっているものの, 0.25Hz 以上の領域では換算率に対する荷重繰り返し速度の影響は認められない. また荷重範囲, すなわちひずみの大きさが換算率に与える影響もないといえる.

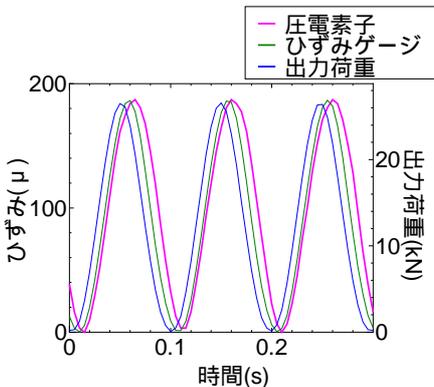


図 4 ひずみ測定波形

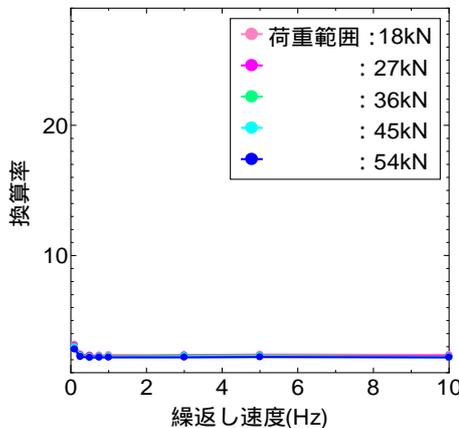


図 5 ひずみへの換算率と繰り返し速度の関係

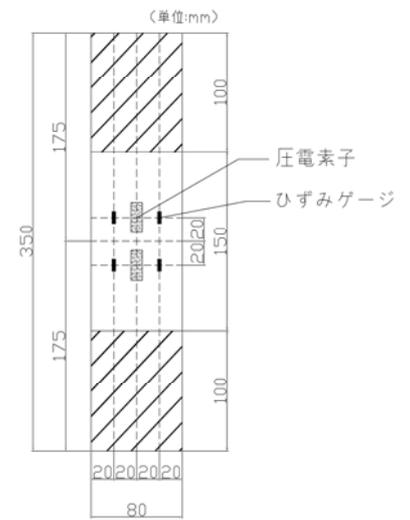


図 3 試験体

### 4. 応力範囲頻度解析システムの検証

本システムの CPU がどの程度の精度で応力範囲頻度解析を行えるかを検証する目的で, 実橋で測定された応力波形データ (首都高速 3 号線ひずみ測定データ, 24 時間) を対象に, 本 CPU で求めた応力範囲頻度分布と疲労損傷度をヒストグラムレコーダで求めたものと比較した. その結果を図 7 と図 8 に示す. 両者の形状はよく一致している. また, 疲労損傷度の違いも 5% 程度の誤差に過ぎない.

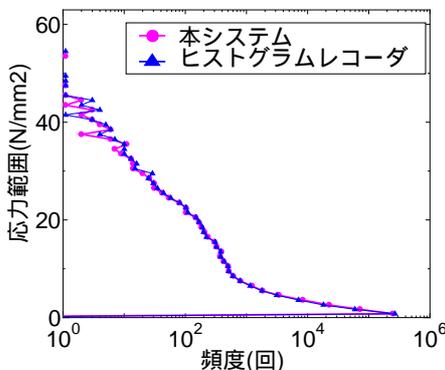


図 7 応力範囲頻度分布

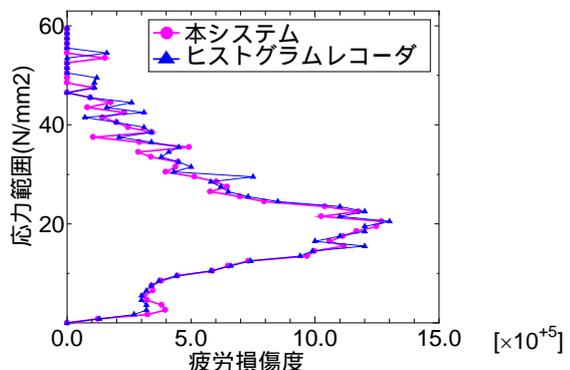


図 8 疲労損傷度

### 5. まとめ

繰り返し荷重に対しては圧電素子を用いたひずみ測定が可能といえる. 今後は変動振幅荷重に対する検討が必要である.