

圧電アクチュエータの局部加振による実橋梁の微小欠陥検出に関する研究

Research on small defect detection of real bridge by local excitation of piezo-electric actuator

北見工業大学 学正員 ○坪川良太
 北見工業大学 フェロー 大島俊之
 北見工業大学 正員 三上修一
 北見工業大学 正員 官森保紀
 北見工業大学 正員 山崎智之

1. はじめに

戦後の国土復興期とその後の高度経済成長期に作られた社会基盤施設は、現在建設されてから数十年経過しており、何らかの損傷を生じているものが多くなりつつある。そのため、目視点検以外の簡便かつ容易な性能評価方法の確立が急がれている。本研究では、実鋼構造物に積層圧電アクチュエータを使用して局部加振実験を行い振動特性の変化を測定・解析して、損傷を同定する。

2. 実験概要

2.1 実験方法

実験橋梁に加速度計、加振器を設置した。主桁腹板中央に設置した加振器を用いて局部加振を行い、設置した加速度計で加速度応答を計測する。実験橋梁の横構には程度が異なる損傷を入れており、損傷を入れていない健全状態と損傷ごとの加速度応答を測定する。

2.2 実験橋梁(図-1、図-2)

R橋 形式：四径間連続曲線鋼桁橋
 橋長：119.4[m] (実験は第四径間で行った)
 全幅：9.700[m]



図-1 実験橋梁



図-2 実験に用いた第四径間

2.3 実験条件

実験は実験橋梁の第四径間を用いて行い、この平

面図を図-3に示す。加速度計は16箇所に設置して実験を行った。加速度計番号を ch1~ch16 とし ch1~ch12 は主桁下フランジに設置し、ch13~ch15 までを横桁下フランジに近い主桁腹板に設置した。ch16 は主桁腹板に設置した。加速度計の設置方向はアクチュエータによる加振方向と同じ方向になるように設置した。加振波は sweep 波による加振を行い、加振方法は周波数が 1~650[Hz]まで一様に変化する sin 波(sweep 波)として、20[sec]の加振を行った。サンプリング周波数は 8000[Hz]で実験を行った。振動の発生源には積層圧電アクチュエータ(10×10×20mm)を用いた。このアクチュエータは電圧(0 から 100[V])をかけることで体積が増減し、その体積の増減を利用して振動を起こしている。橋梁に振動を与えるため、アクチュエータに荷重(初期荷重)をかけて起振力を与えている。本実験では初期荷重は 30[kg]とした。設置位置は下図(図-3)の矢印の位置である。

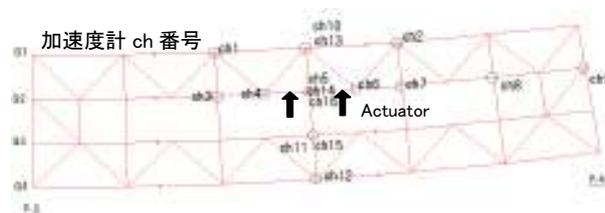


図-3 実験橋梁平面図

2.4 損傷

この実験ではボルトの張力開放(弛緩)を損傷とし、本研究では損傷ケースを case1~case2 で表した。損傷位置は実験橋梁の第四径間の横構接合部に注目し、下図(図-4)の丸で囲まれている部分のボルトを張力開放した。この接合部のボルトは合計 16 本あり、case1 は横構のうち横桁に近い 8 本のボルトを緩め、case2 は残りの 8 本のボルトを緩め合計 16 本のボルトを緩めた。



図-4 損傷位置

キーワード PSD 損傷位置指数

連絡先 〒090-8507 北海道北見市公園町 165 番地 tel 0157-26-9529

3. 損傷評価方法

実験で得られた加速度波形から高速フーリエ変換を用いてパワースペクトル密度(PSD)を算出し、損傷状態のPSDと損傷を入れていないとき(健全状態)のPSDの変化率を計算する。

$$D_i = \frac{|G_i(f) - G_i^*(f)|}{1 + |G_i(f)|}$$

- D_i : PSD の変化率
- $G_i(f)$: 健全状態の PSD
- $G_i^*(f)$: 損傷状態の PSD

上記の式を設置加速度計数(n)と加振周波数(m)ごとに算出し、マトリクス[D]で表す。

$$D = \begin{bmatrix} D_1(f_1) & D_1(f_2) & \dots & D_1(f_m) \\ D_2(f_1) & D_2(f_2) & \dots & D_2(f_m) \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ D_n(f_1) & D_n(f_2) & \dots & D_n(f_m) \end{bmatrix} \quad \left. \vphantom{\begin{bmatrix} D_1(f_1) \\ D_2(f_1) \\ \vdots \\ \vdots \\ D_n(f_1) \end{bmatrix}} \right\} \text{設置加速度計}(ch)$$

加振周波数のデータ

各周波数で最大のパワースペクトル密度変化(マトリクス[D]それぞれの列の最大値)を選択して、他のパワースペクトル密度変化を最大のパワースペクトル密度変化で割った値を出す。計算された結果をマトリクス[C]で定式化する。例えばマトリクス[D]で $D_3(f_1)$ の値が1列目の最大値であるなら、 $C_3(f_1)$ の値は1となり、列の他の値はより小さいそれぞれの値から $D_3(f_1)$ の値を割った値となる。同様に2列目は $D_2(f_2)$ 、m列目は $D_5(f_m)$ が最大値をとったものとすると以下のようになる。

$$C = \begin{bmatrix} C_1(f_1) = \frac{D_1(f_1)}{D_3(f_1)} & C_1(f_2) = \frac{D_1(f_2)}{D_2(f_2)} & \dots & C_1(f_m) = \frac{D_1(f_m)}{D_3(f_m)} \\ C_2(f_1) = \frac{D_2(f_1)}{D_3(f_1)} & C_2(f_2) = \frac{D_2(f_2)}{D_2(f_2)} & \dots & C_2(f_m) = \frac{D_2(f_m)}{D_3(f_m)} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ C_n(f_1) = \frac{D_n(f_1)}{D_3(f_1)} & C_n(f_2) = \frac{D_n(f_2)}{D_2(f_2)} & \dots & C_n(f_m) = \frac{D_n(f_m)}{D_3(f_m)} \end{bmatrix} \quad \left. \vphantom{\begin{bmatrix} C_1(f_1) \\ C_2(f_1) \\ \vdots \\ \vdots \\ C_n(f_1) \end{bmatrix}} \right\} ch$$

加振周波数のデータ

マトリクス[D]の行からパワースペクトル密度変化の合計、マトリクス[C]の行からパワースペクトル密度変化の割合の合計を計算した値を用い損傷位置指数を算出し、損傷位置指数が大きい加速度計位置周辺に損傷がある可能性が高いことを表した。注目しているPSDデータは加振周波数の範囲である。

4. 実験結果

実験結果を図-5に示す。グラフの縦軸は損傷位置指数、横軸は加速度計のch番号(加速度計の設置位

置)を表わしており値が大きいところに損傷がある可能性が高いと判断する。

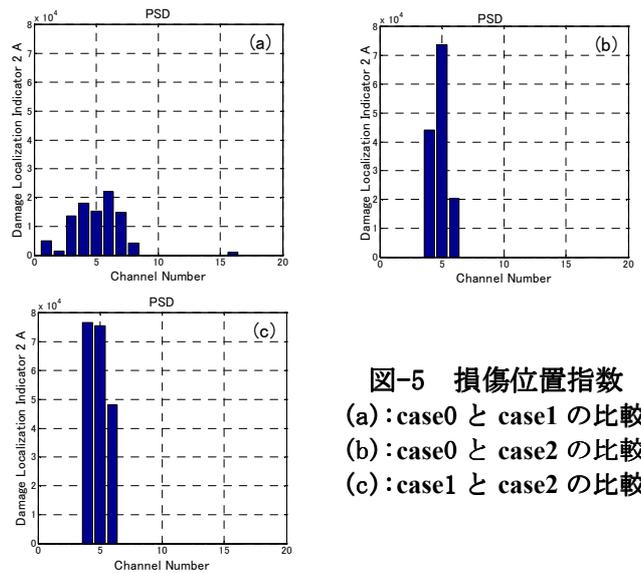


図-5 損傷位置指数
(a): case0 と case1 の比較
(b): case0 と case2 の比較
(c): case1 と case2 の比較

case0とcase1を比較したグラフ(a)では損傷を加えた主桁に設置した加速度計ch3~ch6の損傷位置指数の値が大きく出ていることがわかる。特に損傷を加えた位置に近いch4、ch6の損傷位置指数の値が大きくなっている。したがってグラフ(a)からはch4、ch6周辺に損傷がある可能性が高いと判断でき、損傷もch4、ch6周辺に加えているため損傷位置の同定ができていないと判断できる。case0とcase2を比較したグラフ(b)ではch4~ch6の損傷位置指数の値がほかの加速度計よりも大きいことがわかり、グラフ(b)からはch4~ch6周辺に損傷があると評価できる。実際の損傷はch4、ch6に加えているので損傷の同定ができていないと言える。またグラフ(a)とグラフ(b)を比較すると、グラフ(a)よりグラフ(b)の方が損傷位置指数の値が大きいので、グラフ(a)とグラフ(b)の比較からcase2の損傷の方が大きいと評価できる。実際の損傷はcase2の方が大きな損傷を加えているので損傷の大小の評価ができていないといえる。次にcase1の損傷状態を基準としてcase2の損傷状態の評価を行った。グラフ(c)からch4~ch6の損傷位置指数の値が大きく、case1からcase2の損傷の変化でch4~ch6に損傷の影響があると評価できる。

5. まとめ

今回の実験結果から実橋における微小損傷の評価、および損傷の大小の比較を検討できた。

圧電アクチュエータで鋼構造部材を加振し、得られた応答加速度を用いて損傷の評価を行うという本手法は、実橋梁のような鋼構造物の損傷検出に有効であることが証明された。今後はその他の損傷事例についても検証する予定である。

参考文献

Toshiyuki Oshima, Shuichi Mikami, Yasunouri Miyamouri, Tomoyuki Yamazaki, Sheriff Beskhyroum: Damage identification of civil infrastructure with array sensing under local excitation, SHMII-4, Zurich, Switzerland, 2009