

局部加振法による小規模鋼橋の微小欠陥検出の検討

Investigation on the small defect detection of small size steel bridge by using local excitation method

北見工業大学 学正員 ○高橋 徹(Tohru Takahashi)
 北見工業大学 フェロー 大島俊之(Toshiyuki Ohshima)
 北見工業大学 正会員 三上修一(Shuichi Mikami)
 北見工業大学 正会員 宮森保紀(Yasunori Miyamori)
 北見工業大学 正会員 山崎智之(Tomoyuki Yamazaki)

1 はじめに

現在建設されている橋梁の多くは高度経済成長期に建設されており、建設されてから数十年経過した現在、構造物になんらかの損傷が起こっている可能性があると考えられる。また、今後使用限界を超える建造物が増えることが予想される。使用限界を超える構造物すべてを建て替えることは我が国の財政状況では困難である。そのため、構造物の長寿命化を目指すことが急務となっている¹⁾。構造物の長寿命化を行うために、構造物の使用性評価を行う必要がある。今後増加するであろう使用限界を超える構造物の使用評価をおこなうために、目視点検以外の簡便かつ容易な方法の確立が急がれている。本研究では積層圧電アクチュエータを使用して局部加振実験をおこない、振動特性の変化を測定・解析をして損傷を同定する^{2)~4)}。

2 実験概要

2.1 実験方法

実験橋梁に加速度計と加振器（アクチュエータ）を設

置した。設置した加振器で実験橋梁を局部加振し、実験橋梁各部に設置した加速度計にて加速度を計測する。実験橋梁には損傷を加えている。損傷を加えていない状態（健全状態）と損傷を入れた状態（損傷状態）の応答加速度をそれぞれ測定する。

2.2 実験橋梁

実験橋梁には平成18年に廃線となったふるさと銀河線の鉄道橋を使用している。橋梁名は信濃川、橋長は6,960[mm]、主桁間隔は1,130[mm]となっている。実験橋梁の写真を図-1に示す。

2.3 実験条件

実験橋梁の平面図は図-2に示した。加速度計は総数16個設置した（以下の説明では加速度計の番号をch(1、2、…、16)とする）。加速度計は上下のフランジと腹板に水平方向に設置した。上下フランジに設置した加速度計は合計14個でch(1、3、5、10、12、14、16)を上フラ



図-1 実験橋梁(A-2 から)



図-3 D-1



図-4 D-2

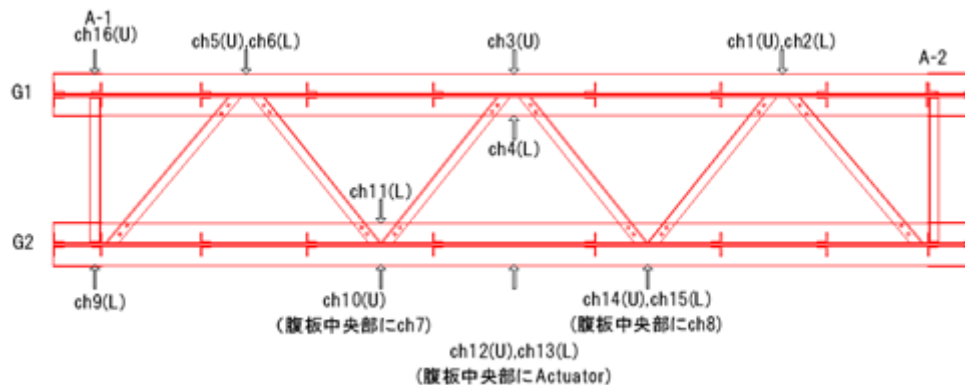


図-2 実験橋梁平面図

ンジに設置し、ch(2、4、6、9、11、13、15)を下フランジに設置した。腹板に設置した加速度計は合計2つでch(7、8)を設置した。加振器は積層圧電アクチュエータを1個使用しており、主桁 G-2 の中央部の腹板中央に水平方向に設置している。

損傷の様子を図-3、図-4 に示す。損傷は主桁 G-1 の中央部の下フランジに亀裂を加えた。損傷は亀裂を2段階で加えた。1段階目は下フランジの4分の1を切断、2段階目は下フランジの2分の1を切断した。以下の説明では健全状態を D-0、1段階目の損傷を D-1、2段階目の損傷を D-2 とする。

加振は sweep 波による加振を行った。加振周波数は1-750[Hz]まで一様に変化する sin 波 (sweep 波) として、加振時間を 20[sec]とした。本実験では初期荷重を 49[N]とした。加速度応答を計測する際のサンプリング周波数は 10,000[Hz]とした。

2.4 損傷評価方法

実験により得られた、損傷を入れてない状態 (健全状態) と下フランジを切断した状態 (損傷状態) の測定点ごとの加速度波を高速フーリエ変換により、パワースペクトル密度 (PSD) に変換する。得られたチャンネルごとの健全状態と損傷状態の PSD の差を、小さい方の PSD の値で除算したものを $D_i(f)$ とし、式(1)で表される。このとき、分母に 1 を足しているのは、分母を常に 1 以上にするためである。

$$D_i(f) = \frac{|G_i(f) - G^*_i(f)|}{1 + (G_i(f), G^*_i(f))_{\min}} \quad \dots (1)$$

$D_i(f)$: PSD の変化率

$G_i(f)$: 健全状態の PSD

$G^*_i(f)$: 損傷状態の PSD

PSD 解析データを上記の式で計算した変化率を設置加速度計番号(i)と解析周波数(f)ごとに算出し、マトリックス[D]とする。マトリックス[D]を行列表示すと次のようになる。また、マトリックス[D]の周波数軸方向に合計したマトリックスを本研究では Total Change(TC) (式(3)) と呼ぶ。

$$[D] = \begin{bmatrix} D_1(f_1) & D_2(f_1) & \cdots & D_n(f_1) \\ D_1(f_2) & D_2(f_2) & \cdots & D_n(f_2) \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ D_1(f_m) & D_2(f_m) & \cdots & D_n(f_m) \end{bmatrix} \quad \dots (2)$$

$$TC = [\sum D_1(f_i) \quad \sum D_2(f_i) \quad \cdots \quad \sum D_n(f_i)] \quad \dots (3)$$

次に、周波数ごとにマトリックス[D]を比べ、PSD の変化率が一番大きい加速度チャンネルを検出する。検出された加速度チャンネルの変化率ですべての加速度チャンネルの変化率を除算したものを $C_i(f)$ とする。また、 $C_i(f)$ の周波数ごとに合計したマトリックスを本研究では Damage Detection(DD)と呼ぶ。

$$C_i(f) = \frac{D_i(f)}{D(f)_{\max}} \quad \dots (4)$$

$$[C] = \begin{bmatrix} C_1(f_1) & C_2(f_1) & \cdots & C_n(f_1) \\ C_1(f_2) & C_2(f_2) & \cdots & C_n(f_2) \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ C_1(f_m) & C_2(f_m) & \cdots & C_n(f_m) \end{bmatrix} \quad \dots (5)$$

$$DD = [\sum C_1(f_i) \quad \sum C_2(f_i) \quad \cdots \quad \sum C_n(f_i)] \quad \dots (6)$$

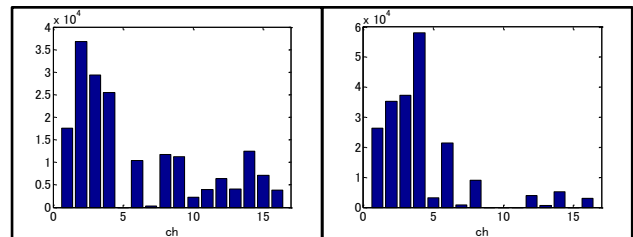
マトリックス[D]のチャンネルごとの合計値である Total Change と、マトリックス[C]のチャンネルごとの合計値である Damage Detection を掛けることにより損傷指数 (Damage Indicator) を算出する。損傷指数 (Damage Indicator) の値はチャンネルごとに算出され、値が大きい加速度計周辺に損傷の影響を受けている可能性が高いことを表している。損傷評価は損傷指数の大きい場所をより明確にする手法を施した。T.C の標準偏差を δ 、D.D の標準偏差を λ と定義する。T.C と δ の 2 倍の差を SD2、D.D と λ の 2 倍の差を SC2 と定義する。SD2 と SC2 をかけ合わせることで D.I2 を算出する。本研究では D.I2 の値により損傷の評価を行った。

$$\begin{cases} SD2 = TC_i - 2\delta_i \\ SC2 = DD_i - 2\lambda_i \end{cases} \quad \dots (7)$$

$$SD2 \times SC2 = D.I2 \quad \dots (8)$$

3 実験結果

本章では解析方法による検討を行ったときの損傷指数を図-1 に示す。検討では、マトリックス[D]・マトリックス[C]を作成する上で、図-5 の(a)、(b)では、解析の周波数範囲を加震周波数範囲と同じ 1-750[Hz]で行った。



(a) D-1 1-750[Hz]

(b) D-2 1-750[Hz]

図-5 Damage Indicator

解析周波数範囲 1-750[Hz]において、D-1 (図-5(a)) において損傷位置周辺 (ch2、3、4) 以上に損傷指数が強く出現し、G1 桁 A-1 側～中央部に損傷があると評価された。同様に、D-2 (図-1(b)) においては損傷位置周辺 (ch2、3、4)、特に、損傷位置である ch4 に損傷指数が強く出現し、G1 桁中央部に損傷があると評価された。D-2 は D-1 よりも損傷位置において D.I2 が強く出現している。

4 まとめ

本研究は実際に使用されていた鉄道廃線橋梁を対象に健全状態と下フランジの切断による2つの損傷状態に対して検討を行った。

今回の実験の解析により得られた損傷指数から、損傷位置の評価ができた。

鋼構造部材を圧電アクチュエータによって局部加振し、得られた加速度応答から損傷位置を評価する本手法は鋼構造部材の損傷検出に有効であることが証明された。

謝辞

本研究は(独)科学技術振興機構(JST)戦略的国際科学技術橋梁推進事業(研究代表者:大島俊之)の支援を受けて実施した研究の一部である。

ご支援に深く感謝申し上げます。

参考文献

- 1) 土木学会構造工学委員会橋梁振動モニタリング研究小委員会：橋梁振動モニタリングのガイドライン、土木学会、2000.
- 2) S.Mikami, S.Beskhyroun, Y.Miyamori, T.Oshima : Application of a vibration-based damage detection algorithm on a benchmark structure、tructural Health Monitoring of Intelligent Infrastructure, Vol.3, CD-ROM(No.55), 2007.
- 3) 三上, シェリフ・ベスキロウン, 山崎, 大島：振動帯域を考慮した圧電アクチュエータ加振によるコンクリート部材の損傷検出に関する研究、応用力学論文集、Vol.10、pp.77-88、2007.8.
- 4) 坪川, 大島, 山崎, 三上, 宮森：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、土木学会年次学術講演会講演概要集 第1部、65巻、905-906, I-453頁、2010.