

局部加振法による微小構造欠陥の検出法に関する研究

Study on Small Defect Defection of Structure by using Local Excitation Method

北見工業大学	○学生員	高橋 徹
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	宮森 保紀
北見工業大学	正員	山崎 智之

1. まえがき

構造物の長寿命化を行うために、構造物の健全度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健全度評価を行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¹⁾。著者らのこれまでの研究^{2),3)}から圧電アクチュエータを使用した局部加振法によって実橋梁の微小欠陥が精度よく検出できることが確かめられている。しかしながら、本手法を実用化して有効な診断手法として確立するためには今後検討して明確にしなければならない課題も多い。本論文の目的は、解析対象を実際の実験に即した単純な数値モデルとして実験内容を検討することで、数値シミュレーションによって局部加振法の実験内容を解析的に把握するものである。

2. 解析概要

2.1 解析方法

本論文では単純な数値モデル化による検討を行うので、I型断面の梁を両端固定とし、腹版を補剛材で補強した形を、バネとダッシュポットによって結合したアレー配置された質点によって図1のように表現する。

2.2 計算条件

各要素の計算条件は実橋梁に対する実験を想定して

以下の様な計算モデルを設定した。また、減衰係数 $c(N \cdot \text{sec}/m)$ はそれぞれ剛性係数の 0.1% としている。

総質点数：n=39

梁の支持条件：両端固定

質量

フランジ部： $m_{1-26}=18.49-30.27(\text{kg})$

腹版部： $m_{27-39}=14.64-28.82(\text{kg})$

剛性係数

フランジ部： $k_{1-28}=3.295 \times 10^7 - 6.513 \times 10^8 (\text{N}/m)$

腹版部（横方向）： $k_{29-42}=1.347 \times 10^5 - 5.494 \times 10^5 (\text{N}/m)$

腹版部（縦方向）： $k_{43-68}=7.908 \times 10^5 - 1.056 \times 10^8 (\text{N}/m)$

損傷設定箇所

部材番号： k_{17} ($m_{15}-m_{16}$ 間)

損傷程度：剛性を 10%, 20% 減少

加振条件

加振位置： $i=33$ (単点加振)

$i=27, 29, 31, 33, 35, 37, 39$ (多点加振平均)

加振周波数幅： $f=1-750(\text{Hz})$, 1(Hz)刻み

応答解析には MATLAB の伝達関数を使用する。

2.3 解析手法

伝達関数の応答解析によって得られた損傷を加えて

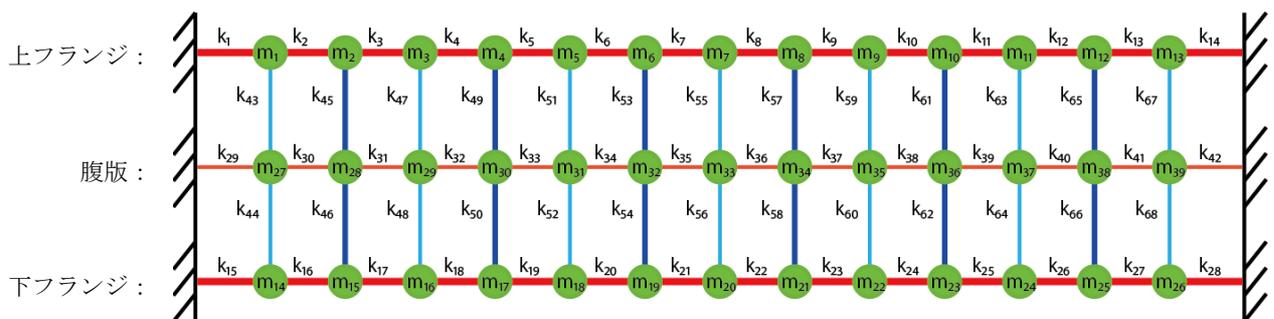


図1 多質点系梁モデル

キーワード 伝達関数, 微小欠陥検出, 局部加振法, 数値シミュレーション, 損傷指数

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

いない状態の応答結果を健全状態、損傷を加えた損傷状態の伝達関数をそれぞれ $G_i(f)$, $G^*_i(f)$ とし、損傷を10%加えたときをD-1、損傷を20%加えたケースをD-2とする。また、複数箇所で単点加振を行った多点加振平均によるケースを同様にD-3、D-4とする。健全状態と損傷状態の伝達関数の差を $G_i(f)$ で除算したものを $D_i(f)$ とし、式(1)で表す。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。

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

伝達関数を上記の式で計算した変化率を質点番号*i*と解析周波数*f*ごとに算出し、マトリックス[D]とする。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Total Change(T.C)と呼ぶ。次に、周波数ごとにマトリックス[D]を比べ、伝達関数の変化率が一番大きい質点を検出する。計算された伝達関数の変化率ですべての伝達関数の変化率を除算したものを $C_i(f)$ とし、式(2)で表す。また、 $C_i(f)$ の周波数ごとに合計したマトリックスをDamage Detection(D.D)と呼ぶ。

$$C_i(f) = \frac{D_i(f)}{D(f)_{max}} \quad \dots (2)$$

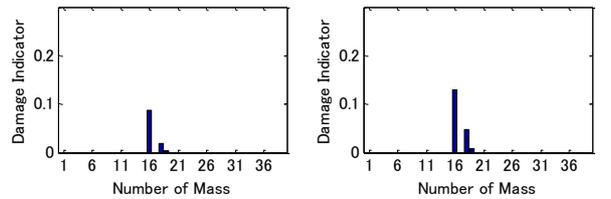
マトリックス[D]のチャンネルごとの合計値であるTotal Changeと、マトリックス[C]のチャンネルごとの合計値であるD.Dを掛け合わせるにより損傷指数を算出する。損傷指数は質点ごとに算出され、値が大きい質点周辺に損傷の影響を受けている可能性が高いことを表している。T.Cの標準偏差を δ 、D.Dの標準偏差を λ とする。T.Cから2倍の δ を引いたものをSD2、D.Dから2倍の λ を引いたものをSC2とし、式(3)で表す。SD2とSC2をかけ合わせるによりD.I2を算出し、式(4)で表す。本研究ではD.I2の値により損傷の評価を行った。

$$\begin{cases} SD2 = TC_i - 2\delta_i \\ SC2 = DD_i - 2\lambda_i \end{cases} \quad \dots (3)$$

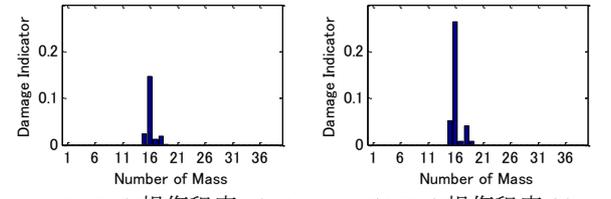
$$SD2 \times SC2 = D.I2 \quad \dots (4)$$

3. 解析結果

解析方法による検討を行ったときの損傷指数を図2、図3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、解析の周波数範囲は1-600(Hz)で行った。



(a) D-1(損傷程度:90%) (b) D-2(損傷程度:80%)
図2 Damage Indicator (単点加振)



(a) D-3(損傷程度:90%) (b) D-4(損傷程度:80%)
図3 Damage Indicator (多点加振平均)

加振点を腹版中央部(m_{33})にした単点加振において、D-1、D-2には損傷位置周辺(m_{16})に損傷指数が強く出現し、図1より下フランジに損傷があると評価された。実際の損傷位置は m_{15} - m_{16} 間であり、実際の損傷位置を同定することができている。加振点を腹版面部(m_{27} , m_{29} , m_{31} , m_{33} , m_{35} , m_{37} , m_{39})で単点加振を行い平均した多点加振平均において、D-3、D-4では損傷位置周辺(m_{16})に損傷指数が強く出現し、図1より下フランジに損傷があると評価された。実際の損傷位置は m_{15} - m_{16} 間であり、実際の損傷位置を単点加振よりも明確に同定することができている。

4. まとめ

解析周波数範囲1-600(Hz)において、単点加振・多点加振平均共に損傷程度が大きくなることで損傷指数が大きくなることから損傷指数によって損傷程度・損傷位置の評価を行うことができた。また、多点加振平均を行うことでより明確に損傷程度・損傷位置を評価することができた。

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) 坪川、大島、三上、宮森、山崎：積層圧電アクチュエータによる局部加振法を用いた鉄道廃線橋梁の損傷検出の研究、土木学会北海道支部論文報告集 vol.68、A-03、2012.
- 3) 高橋、大島、三上、宮森、山崎：局部加振法による小規模鋼橋の微小欠陥検出の検討、土木学会北海道支部論文報告集 vol.69、A-01、2013.