

## 圧電アクチュエータを用いたRC構造欠陥検出の検討

○北見工業大学 学生会員 李 昕宇  
北見工業大学 正会員 シェワ ベスウ  
北見工業大学 フェロー 大島 俊之

北見工業大学 正会員 山崎 智之  
北見工業大学 正会員 三上 修一

### 1. はじめ

戦後まもなくに作られた日本の橋梁群が寿命を迎えようとしている現在、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、実験用に製作した鉄筋コンクリート(RC)部材を用いて損傷検出を目的に積層圧電アクチュエータを使用した振動実験を行い、各実験ケースにおけるRC部材の損傷の違いによる加速度応答の変化を捉え、損傷の検出および損傷位置の特定を行った。ここでは鋼板貼り付け量の違いを模擬的に損傷状態として実験を行った。

### 2. 実験概要

#### (1) 実験方法

実験では欠損部を設けた供試体を用いて、欠損部を鋼板で埋めることで損傷ケースをいくつか作成した。そのケースごとに振動を与えて出力された結果(加速度波形)にフーリエ解析を用いて計算したパワースペクトル密度(PSD)の変化から損傷の有無を判断し、損傷位置を特定する。振動実験での加振波について、sweep波(7秒間で周波数が100Hzから800Hzまで一様に変化する振動)を与えた時のPSD結果から卓越振動数である359.4Hzと671.9Hzを予めピックアップし、その卓越振動数をsin波の振動数として振動させてやることでより詳しい実験を行った。各損傷ケースにおいて、sweep波1種類、sin波2種類の計3種類の振動を1つずつ与えてその応答を7つの加速度計(1ch-7ch)で計測する。その設置位置を図1に示す。

#### (2) 供試体

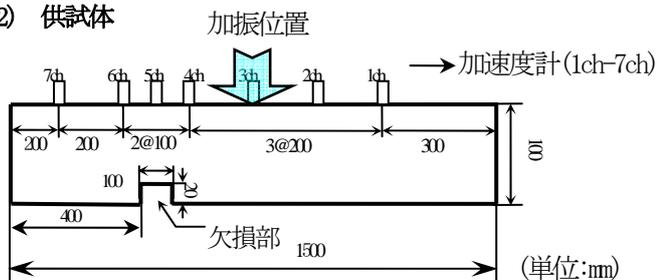


図1 供試体の断面図(奥行200mm)

実験供試体として用いたRC部材の寸法は100×200×1400(mm)で、欠損部として設けた溝の寸法を100×200×20(mm)とした。供試体の断面図についても図1に示す。

#### (3) 加振器

振動の発生源として積層圧電アクチュエータを用いた。このアクチュエータは電圧(0-100V)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。供試体に振動を与えるため、荷重(初期荷重)をかけてアクチュエータと供試体を固定している。

#### (4) 実験条件

初期荷重：196.133N(20kgf)

加振波：sweep波(100-800Hz) 7s

sin波(359.4Hz, 671.9Hz)

サンプリング周波数：4000Hz

計測時間：8s

加速度計：1~7ch



図2 健全状態写真

#### (5) 損傷ケース

供試体作成時に欠損として溝を設けており、その溝に厚さ5mmの鋼板を3枚重ねてはめ込んだ状態を健全状態とし、その鋼板を外していくことで損傷状態とした。損傷ケースを次に示す。

損傷ケース0(d0)：健全状態(図2)

損傷ケース1(d1)：鋼板が1枚欠損した状態

損傷ケース2(d2)：鋼板が2枚欠損した状態

損傷ケース3(d3)：鋼板が3枚欠損した状態

### 3. 損傷検出解析の理論説明

実験よりチャンネル*i*で測定された加速度波をスペクトル解析して得られた周波数*f*に対するパワースペクトルの大きさを関数 $G_i(f)$ で表わす。次に式(1)のように関数 $G_i(f)$ の健全状態と損傷状態の差(絶対値)を $D_i(f)$ とし、損傷による変化の大きさを表わす式として定義する。

$$D_i(f) = |G_i(f) - G_i^*(f)| \dots \dots \dots (1)$$

キーワード：ヘルスマニタリング、損傷検出、モード特性

連絡先：090-8507 北海道北見市公園町165番地 Tel: 0157-26-9488

ここで、 $G_i(f)$ :健全状態のパワースペクトル、 $G_i^*(f)$ :損傷状態のパワースペクトルを表わす関数である。パワースペクトルがそれぞれの測定位置  $i$  で  $f_1$  から  $f_m$  までの周波数で計算されるとき、 $D_i(f)$  は損傷の変化を表わすマトリクス  $[D]$  として式(2)のように定式化することができる。式(2)において  $n$ :測定点の数(チャンネル数)、 $m$ :スペクトル解析で得られた周波数の数を表す。したがって、 $[D]$  の行はチャンネルの番号を示し、列は周波数の変化を示している。この  $[D]$  においてチャンネル毎に全周波数の  $D_i(f)$  を合計したものを TC(Total\_Change) とし(式(3))、損傷の有無や位置を表わす指標とする。

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

$$TC = \begin{cases} \sum_{j=1}^m D_1(f) \\ \sum_{j=1}^m D_2(f) \\ \vdots \\ \sum_{j=1}^m D_i(f) \\ \vdots \\ \sum_{j=1}^m D_n(f) \end{cases} \quad (3)$$

4. 実験結果

実験結果の一例として sweep 波を与えた時の 5ch の加速度計から得た加速度波形を図 3 に示す。d0 と d3 を比較すると d3 の方でより大きな加速度が得られている。図 4 に 1ch と 5ch における PSD を示す。損傷が大きくなると卓越振動数(359.4Hz, 671.9Hz)の PSD が増加傾向にある。さらに、図 4 における縦軸を対数表示し、横軸を 1000Hz まで表示したグラフが図 5 である。ここでは d0 と d3 の状態だけを表示したが 1ch と 5ch を比較すると 5ch の方が d0 と d3 変化が大きく現れていることがわかる。この変化を損傷による PSD の差としてチャンネルごとにまとめたものを Total Change として図 6 中の d0-d3 グラフで示した。同様に d0-d1 と d0-d2 を比較した結果も図 6 に示す。横軸の Channel Number は加速度計の番号(位置)を示しており図 1 の加速度計の ch 番号と一致する。図 6 において加速度計 5ch の変化が著しく大きいことから 5ch 付近に損傷が存在していることを示している。特に、d0-d3 の比較で 5ch の変化が一番大きい。また、別の損傷ケースによっても応答に変化があることから、鋼板一枚の差でも損傷の有無が確認できることが分かる。

5. まとめ

今回の実験から振動特性を比較することにより RC 構造物における損傷の有無、損傷位置特定が可能であることがわかった。積層圧電アクチュエータによる sweep 加振法だけでなく、sweep 加振によって導き出された卓越振動数を利用した sin 波で加振させてやることで、健全・損傷状態でのより明確な振動特性の変化を把握できることが確認された。今

後、実際の RC 構造の損傷についてどのような損傷が検出可能であるか検討する必要がある。

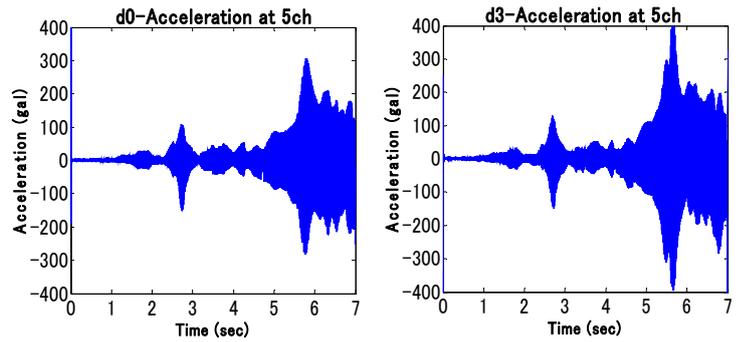


図3 加速度波形

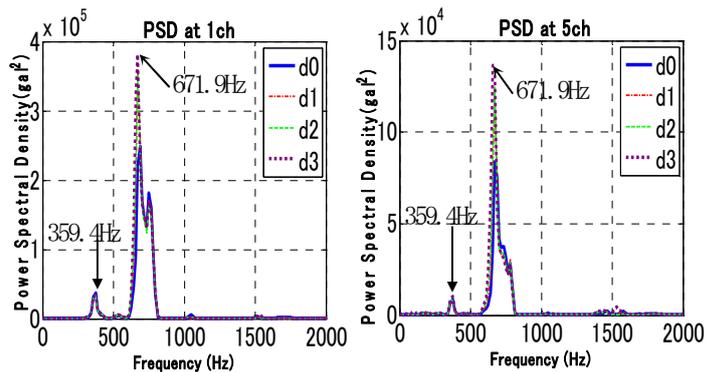


図4 1chと5chにおけるPSD

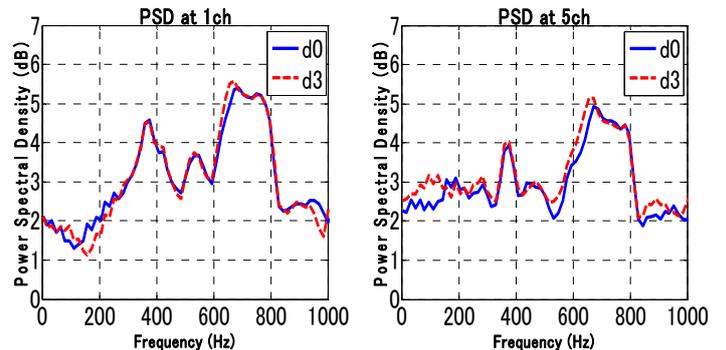


図5 logarithmic modeによるPSD

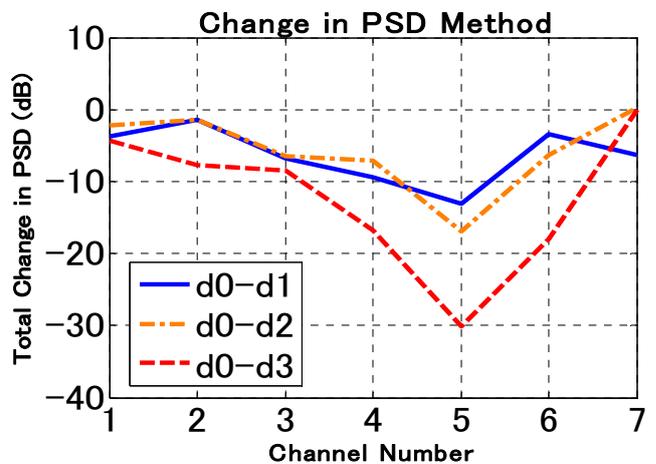


図6 Total Change (sweep 波)

参考文献

1)Beskhyroun S., Mikami S., and Oshima T., Nondestructive damage detection scheme for steel bridges, *Journal of Applied Mechanics JSE* Vol. 9, pp 63-74, 2006