

## 省力化を目指した鋼アーチ橋模型の吊材損傷検知に関する実験的検討

大阪公立大学大学院 学生員 ○赤星 花奈  
大阪公立大学大学院 正会員 山口 隆司

大阪公立大学大学院 正会員 林 巖

## 1. 研究背景および目的

近年、六十谷水管橋、南方澳跨港大橋などアーチ橋の複数の吊材の破断による落橋が発生しており、重大事故に繋がる前に損傷検知することが重要となる。既往の研究では、腐食等の損傷により橋梁の振動特性や変位に変化が現れることがわかっている<sup>1)2)</sup>が、損傷位置同定のためには多数のセンサが必要である。そこで本研究では、固有振動数や変位を用い、少数のセンサでアーチ橋模型の吊材の損傷を検知するための基礎的な検討を行う。

## 2. 対象橋梁と模擬損傷

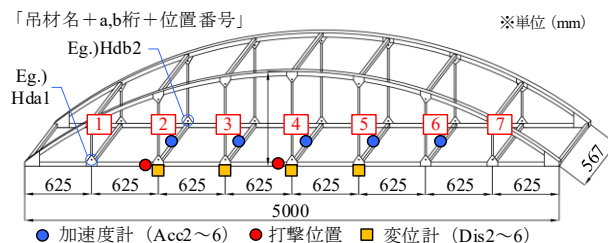
図-1 に対象橋梁の全体図を、表-1 に部材断面を示す。全長 5000mm、幅 567mm、高さ 893mm の鋼製ランガーアーチ橋模型である。構成部材は補剛桁、アーチリブ、吊材、ガセットプレート、横桁であり、鋼材は SS400 材である。また、吊材と補剛桁はガセットプレートを介し、M6 ボルトで接合している。支承部は両端固定とした。

対象とする損傷は、図-2 に示すように、吊材とガセットを接合するボルトを外すこととした。図-1 には、損傷の位置に損傷名を示しており、損傷名は「吊材名 (Hd) + a 桁, b 桁 + 位置番号 (1~7)」とした。

### 3. 固有振動数

損傷による固有振動数の変化を調べるため、図-1 に示す中央と 1/4 点で打撃により橋梁を加振し、5 つの 3 軸加速度計 (EPSON: M-A552AC1) によって、計測を行った。1 回の計測で 10 回打撃を行い、各打撃位置で 3 回計測した。サンプリング間隔を 200Hz、計測時間を 60 秒に設定した。計測した加速度応答に対して FDD 法を用いて周波数分解を行った。なお、計測データには 60Hz で lowpass フィルターをかけた。模擬した損傷は、損傷が 1 つのケース Hda1~Hda4、損傷が 2 つのケース Hda3-Hda5 (Hda3 と Hda5 は対称)、Hda2-Hda4、Hda1-Hda2 とした。

表-2 に Hda1～Hda4 に損傷を与えたときの曲げ 1, 2 次モードの固有振動数を、図-3 に 3 軸加速度計 Acc2～6 での同定結果と FE 解析から抽出した、健全時の曲げ 1, 2 次モード形状を示す。曲げ 1 次モードは 1/4 打撃のケース、曲げ 2 次モードは中央打撃のケースから抽出した。



(a) 平面図

图-1 对象桥梁

表-1 部材断面

| 部材    | ( $b \times h \times t \times l$ )<br>(mm) | 断面形状                                                                                 |
|-------|--------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|
| 補剛材   | 40×40×1.6×5000                             |   |
| アーチリブ | 40×40×2.0×5000                             |   |
| 横橋    | 30×30×1.6×487                              |   |
| 吊材    | 16(b)×4.5(t)                               |   |
| ガセット  | $t=3$                                      |  |



圖-2 模擬損傷

表-2 計測した固有振動数

|        | 曲げ1次モードの固有振動数 (Hz) |       |       |       |       | 曲げ2次モードの固有振動数 (Hz) |       |       |       |       |
|--------|--------------------|-------|-------|-------|-------|--------------------|-------|-------|-------|-------|
|        | 健全時                | Hda1  | Hda2  | Hda3  | Hda4  | 健全時                | Hda1  | Hda2  | Hda3  | Hda4  |
| 計測1    | 16.60              | 16.65 | 16.46 | 16.11 | 16.02 | 33.11              | 32.81 | 32.57 | 32.67 | 32.96 |
| 計測2    | 16.36              | 16.50 | 16.50 | 16.31 | 16.16 | 32.96              | 32.91 | 32.62 | 32.86 | 32.96 |
| 計測3    | 16.60              | 16.60 | 16.46 | 16.26 | 16.16 | 32.96              | 32.91 | 32.57 | 32.67 | 32.96 |
| 平均値    | 16.52              | 16.60 | 16.46 | 16.23 | 16.11 | 33.01              | 32.88 | 32.58 | 32.73 | 32.96 |
| 健全時との差 |                    | 0.08  | -0.07 | -0.29 | -0.41 |                    | -0.13 | -0.42 | -0.28 | -0.05 |

※1/4打撃より抽出

※中央打撃より抽出

なお、橋軸直角方向への影響は小さいことを確認した。

図-4 の点線に、Hda1～Hda4 に損傷を与えた時の 2 つのモードの固有振動数の平均値の健全時との差を示す．表-2 および図-4 から、曲げ 1, 2 次モードの固有振動数は、健全時から $\pm 0.04 \sim \pm 0.4$  程度の変化が見られた．図-4 (a) では、支間中央の Hda4 が損傷した時に最大の変化を示すのに対して、図-4 (b) では、Hda2 で変化が最大となる．これらの位置は図-3 のモード形状では、節であった．

図-4 に 2 カ所に損傷を与えた場合の固有振動数の平均値の差を併せてプロットした。図-4 (a) では、Hda2-Hda4 が Hda4, Hda1-Hda2 が Hda2 と固有振動数の変化の差が小さく、1 カ所、2 カ所の損傷を判別することは困難である。しかし、図-4 (b) ではこれらの損傷の変化の差が大

キーワード 橋梁ヘルスマニタリング, 固有振動数, アーチ橋  
連絡先 〒558-8585 大阪市住吉区杉本 3-3-138 大阪市立大学大学院 工学研究科 都市系専攻 TEL&FAX 06-6605-2765

きくなり、2カ所の損傷の判別が可能となる。このように、2つのモードの固有振動数を比較することで、1カ所、2カ所の損傷の分類が可能であると考えられる。

#### 4. 変位差

固有振動数で判別できない、対称位置（a桁、b桁）となるHda1～Hda4、Hdb1～Hdb4の損傷を対象とし、a桁、b桁それぞれに160kgf、40kgfを与えた偏心载荷を行った。荷重位置は、図-5のように1/4点と中央点とした。1/4点载荷では変位計Di2～Dis4、中央载荷では、変位計Dis3～Dis5によって、载荷時の鉛直変位を計測した。

図-5（a）にHda1～2、Hdb1～2に損傷を与え、1/4点载荷時の変化のイメージ図と健全時の鉛直変位を、図-6（a）にDis2～Dis4の健全時からの鉛直変位の差を示す。Dis2では、a桁の損傷時に損傷付近の変位が大きいが、b桁損傷時は変位の変化が小さく、a桁とb桁を判別することができる。また、Dis3とDis4では、4つの損傷ケースの変化は小さく、損傷の影響範囲が狭いことがわかる。

図-5（b）にHda3～4、Hdb3～4に損傷を与え、中央载荷した時の変化のイメージと健全時の鉛直変位を、図-6（b）にDis3～Dis4の健全時からの鉛直変位の差を示す。Dis3、Dis4でそれぞれHda3、Hda4の変位の変化が大きくなるものの、Hdb5では変化が小さい。

これらの変位差によって、各損傷で図-6（a）では、Dis2-Dis3間、図-6（b）ではDis3-Dis4間の傾きが異なっており、a桁、b桁の損傷にも違いがある。また、3軸加速度センサを用いると、加速度応答を積分することで傾きを求めることができる。これらのことから、Dis3とその対象位置であるDis5に加速度計を設置することで、少数センサでの損傷位置推定が判別できる可能性がある。

#### 5. 結論

本研究では、鋼アーチ橋模型の吊材を外すことで損傷を与え、固有振動数と鉛直変位を計測し、少数センサでの損傷検知の可能性について検討した。

- 1) 吊材の損傷は、曲げ1次、2次モードへの影響が大きく、特にモード形状の節が損傷すると、固有振動数が大きく変化した。2つのモードの固有振動数の変化を比較することで、損傷が1カ所、2カ所の場合に損傷の位置を分類できる。
- 2) 1/4点と中央に偏心载荷を行い、荷重が大きい桁に損傷を与えると、損傷近辺での鉛直変位が大きくなった。このように、荷重の位置・大きさと変位を比較することで、a桁、b桁を判別することができる。

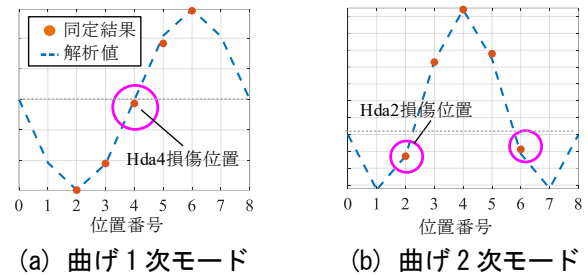


図-3 モード形状

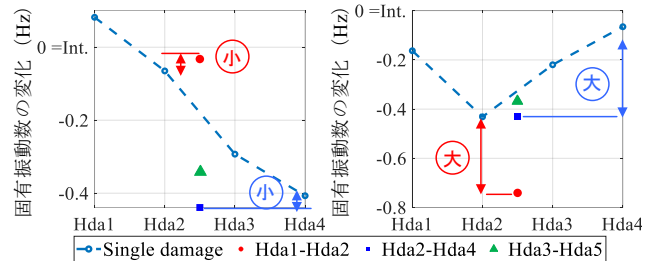
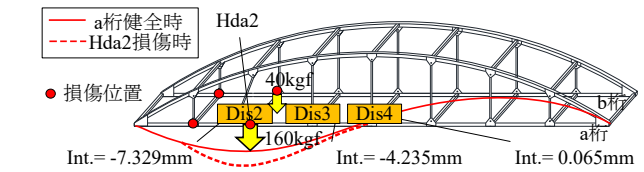
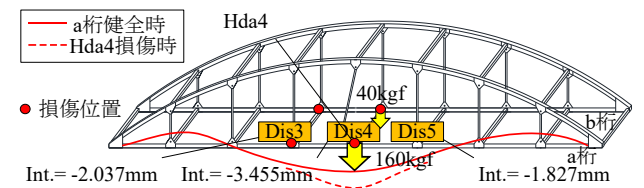


図-4 固有振動数の変化

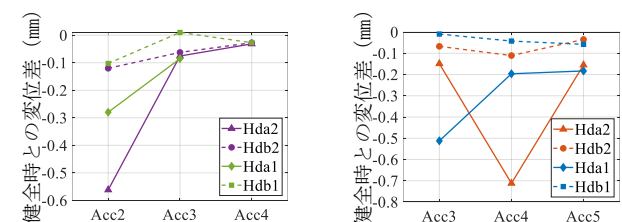


(a) 1/4点载荷イメージ図



(b) 中央载荷イメージ図

図-5 偏心载荷時の変形のイメージ図



(a) 1/4点载荷

(b) 中央载荷

図-6 健全時との鉛直変位の差（上向き正）

- 3) Dis3とDis5の位置に加速度センサを設置し、その傾きを計測することで、対称位置にある損傷を判別することができる。さらに、固有振動数を併せて用いることで、より詳細な損傷位置を判別できると予想される。

#### 参考文献

- 1) 近藤洋佑,他 3名, : 現地载荷試験に基づくPC橋の橋梁性能および振動モニタリング, 土木学会論文集 A2 (応用力学), 75 巻, 2 号, pp 51-62, 2019
- 2) 門田峰典,他 4名 : 腐食損傷した横断歩道橋に対するSHMの適用に向けた基礎的検討, 構造工学論文集 A, 67A 巻, pp.261-272, 2021