

加速度センサを用いた模擬橋梁の固有振動数と傾斜角における損傷位置の影響評価

能美防災（株） 正会員 ○井関晃広 辻本圭亮 遠藤義英 山岸貴俊
群馬大学 正会員 岩崎篤

1. はじめに

著者らは、橋梁のモニタリング技術の確立を目指し、加速度センサを用いて様々な実橋梁の長期計測実験等を進めてきた¹⁾。橋梁では、その環境や構造差等によって、損傷が生じる箇所も種類が異なる。その差によって物理量の現れ方も異なる為、異常検知を試みる時に、その検知が難しくなる場合も予想される。

これまでも模擬橋梁で複数の損傷を模擬し、複数点でその振動を計測した研究^{2,3)}はあるが、傾斜角も含めた上で、損傷の影響を見ているものは少ない。

そこで本稿では、検知の前段階として、模擬橋梁を用いて、損傷位置や損傷度合いによって、固有振動数や傾斜角への影響がどのように異なるのか明確にすることを目的とする。実験としては、屋内に、9 mの模擬橋梁を制作し、損傷を加え、複数点に設置した加速度センサで計測を行い、物理量の変化を算出する。

2. 実験概要

(1) 模擬橋梁の概略

1~1.5mのH形鋼（200×200×8×12 mm, 55 kg/m）を7本つなげて9 mの模擬橋梁を製作し（図1）、当社屋内施設内に水平に設置した（図2）。支承部は、片側を固定し、もう片側は可動支承とした。

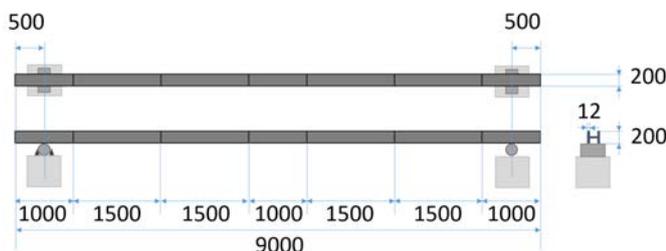


図1 模擬橋梁の概略図



図2 制作した模擬橋梁写真

(2) 実験条件

模擬橋梁に加える損傷として、結合部のボルトを緩めることとした。他にもき裂や薄肉といった劣化モードも用意したが、本稿では割愛する。ボルトは、H鋼の結合に用いたサイドのプレート（図3参照、幅420 mm、高さ200 mm、厚さ9 mm）の下側のボルトを段階的に1~6本緩めることとした。

損傷を加える箇所は図4に示されるように其々3カ所（中央付近、四分位点、支承付近）の結合部のプレ



図3 結合部



図4 センサ（黄色）と損傷位置（上面図）

トである。（向きは図1と同じで、損傷箇所は固定支承側寄りとなる。）

加速度の計測は、5つのセンサを図4のように橋軸方向に並べて設置した。加速度センサには、当社製作の3軸加速度センサ（PDAJ002-RP、周波数範囲: DC~20 Hz、分解能: 0.06 μ G）を用いて行った。計測のサンプリング周波数は100 Hzとした。

計測の際は、20 cmの高さからボールを落とすことで単発のインパクトを与え、インパクト時から90秒間の残留振動による加速度値を計測した。加速度値からは幾つかの物理量への変換が可能であるが、本稿では、特に鉛直方向の固有振動数、および橋軸方向の傾斜角に着目し、解析することとする。

3. 実験結果

模擬橋梁において、各条件で計測した加速度値に対し分析を行い、固有振動数および傾斜角を算出した。図5、6に其々1次と2次固有振動数の変化を示す。縦軸は無損傷時（ボルトがすべて締まっている状態）の固有振動数を100%としたときの、各条件の低下率を示す。なお、無損傷時の固有振動数は、1次が5.2 Hz、2次が21.4 Hz程度であった。横軸の数値は緩めたボルトの本数を示す。固有振動数が損傷進行と共に下がっていることがわかる。

次に、図5、6と同様の条件で、橋軸方向の傾斜角を算出した結果を図7を示す。なお、縦軸（傾斜角）における正の方向は、図1の側面図において、逆時計回りにセンサが傾いた方向となる。損傷進行と共に傾斜角が変化していることがわかる。

キーワード 橋梁, 模擬橋梁, 加速度センサ, 固有振動数, 傾斜角, 損傷位置, 屋内実験

連絡先 〒341-0038 埼玉県三郷市中央 1-18-13 能美防災（株） 研究開発センター 先進技術研究室 TEL 048-954-2374

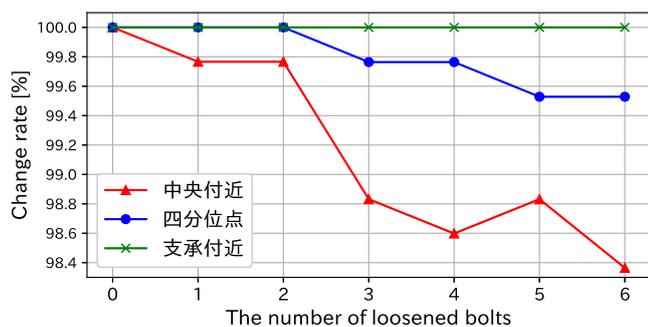


図5 損傷位置毎の固有振動数の変化 (1次)

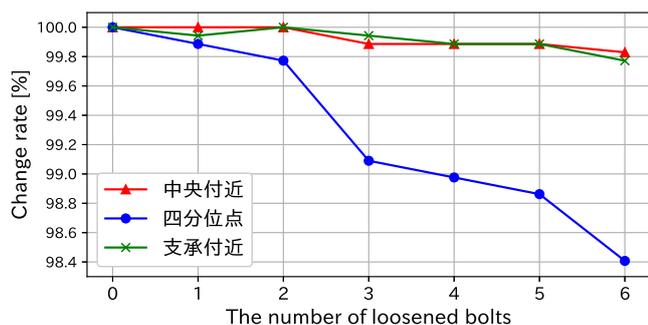


図6 損傷位置毎の固有振動数の変化 (2次)

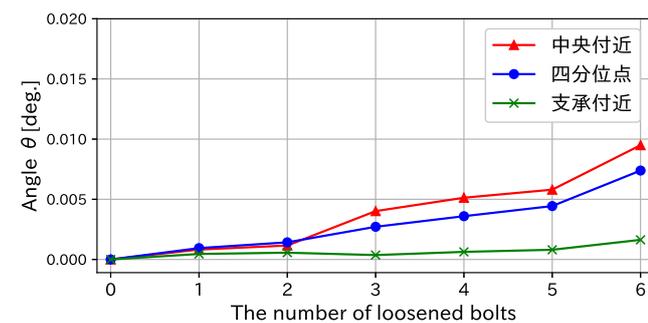


図7 傾斜角の変化 (センサ4)

4. 考察

(1) 固有振動数

図5, 6から, 損傷位置によって, 固有振動数の低下率が異なっている。損傷位置が中央付近の時は1次, 四分位点の時は2次が最も変化している。損傷位置が各固有振動数の振動モードの腹に近いほど, 低下率が大きいことがわかる。損傷位置が支承付近の時は, 1次はほぼ変化せず, 2次では中央付近損傷の時と同程度に小さい変化であることがわかる。

(2) 傾斜角

図7から, 損傷位置によって, センサ4における傾斜角の変化度合いが異なっている。傾斜角の変化は, 中央付近損傷時が最も大きく, 支承付近損傷時が最も小さい。そこで, 支承付近の損傷に着目し, 各センサの傾斜角の変化を図8にプロットした。図8を見ると, 傾斜角は値は小さいものの, 損傷進行と共に変化していることが全センサで確認できる。特に, センサ5における変化は比較的大きい。

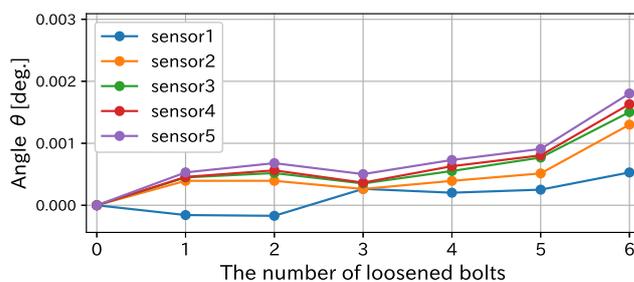


図8 傾きの変化 (全センサ)

(3) 損傷位置

損傷位置毎の物理量の変化を鑑みると, 中央付近と四分位点の損傷の影響は, 其々1次, 2次の固有振動数に現れ易く, また傾斜角にも現れる。一方, 支承付近の損傷による影響は現れにくく, 固有振動数に関しては, 損傷がある程度進行しないと異常として判断し難い。傾斜角に関しても, 支承付近損傷による変化は小さい。しかし, 全センサに変化は現れており, 特に損傷位置と反対側の支承付近のセンサに比較的大きく変化が現れている。

このような特徴を鑑みると, 加速度センサより得られる物理量を単独の変化で評価するのではなく, 複数の変化を総合的に捉える事で, 損傷位置に因らず, 異常検知の感度向上を見込める可能性がある。但し, 実橋梁の場合は, ノイズの影響を考慮する必要がある。また例えば, 最低限, 中央もしくは四分位点かに, 二つのセンサを設置可能ならば, 固有振動数と傾斜角から凡その損傷位置の推測ができる可能性もある。

但し, 本実験で損傷を加えた位置はあくまで支承ではなく, 支承付近である。橋梁の桁の損傷において, 支承部の損傷の検知は重要であるため, 今後は支承部の損傷も模擬した実験も実施し, 損傷位置によらない検知を目指す。

5. おわりに

本稿では, 模擬橋梁に損傷を施し, 損傷位置や損傷度合いによる固有振動数や傾斜角への影響を, 加速度センサを用いて調べた。その結果, 中央付近や四分位点の損傷は, 1次2次の固有振動数等に影響が出易いことがわかり, 支承付近の損傷が最も出にくいことがわかった。但し, 支承付近の損傷は, 傾斜角に着目すると, センサ位置によって比較的大きいものもあるため, 異常を検知できる可能性がある。

今後は, 支承部の損傷も模擬し, 損傷位置によらない異常検知手法の確立を目指す。

参考文献

- 井関ら：低周波加速度センサを用いた6つの実橋梁における活荷重変位と振動の長期モニタリング, 土木学会第74回年次学術講演会概要集, CS9-046, 2019.
- 西村ら：橋梁の損傷評価における力学的挙動の有効性, 土木学会論文集, 1987, 380: 355-364.
- 全ら：多点同時計測と機械学習を用いた損傷同定手法のI型断面はり部材への適用, 土木学会論文集 A2(応用力学), 2016, 72.2: I.623-I.631.