

局部加振法を用いた橋梁主桁損傷検出のセンサー配置による検出精度の検討

北見工業大学大学院 学生員 ○橋爪志奈 北見工業大学工学部 正会員 三上修一
 北見工業大学工学部 正会員 山崎智之 北見工業大学工学部 正会員 宮森保紀
 北見工業大学名誉教授 フェロー 大島俊之

1. はじめに

日本の高度経済成長期に架設された多くの橋梁は供用開始から約 50 年を経過しており、適切な維持管理により長寿命化を目指すことが課題となっている。定期的な橋梁点検として近接目視が義務付けられているが、技術者不足などの課題から、構造物ヘルスマonitoringによる損傷検出技術の開発が盛んに行われている¹⁾。

これまで著者らは、損傷位置検出手法の一つとして圧電アクチュエータを用いた局部加振により供用終了した橋梁を対象に部材の損傷位置検出を行ってきた。柳原ら²⁾が行った実験では質量付加を損傷の代わりとし損傷検出が可能であることを示した。本研究では供用中の橋梁に実験を行うことを目的とし、実際の損傷は付与できないことから、損傷を質量付加で模擬した場合における検出精度に関する検討として、付加質量の変化による検出精度への影響とセンサーおよび加振器の設置個所による検出精度への影響を確認した。

2. 検出手法の概要

2.1 データ測定

本損傷検出手法では、損傷検出する構造部材に加速度計と加振器を設置し、加振器によって Sweep 加振を行い、各測点毎の損傷前後の応答加速度を測定する。得られた加速度データを用いて次節の評価方法で損傷検出を行う。

2.2 損傷評価方法

測点毎に得られた損傷前後の加速度をパワースペクトル密度(以下 PSD と呼ぶ)に変換する。損傷前の PSD $G_i(f_j)$ と損傷後の PSD $G_i^*(f_j)$ の変化率を $D_i(f_j)$ として損傷評価に用いる(式(1))。これを測点番号 i 、解析周波数番号 j で並べマトリクス $[D]$ とする。次に $[D]$ に対する重み付けとして、同一周波数帯 j の最大値 $D_{max}(f_j)$ で基準化した数値 $C_i(f_j)$ を並べ、マトリクス $[C]$ とする(式(2))。

$[D]$, $[C]$ を測点番号 i 方向に合計したベクトルをそれぞれ TC(Total Change), DD(Damage Detection) とする。この TC と DD を測点番号毎にかけた数値を損傷指数 DI (Damage Index) とし、算出された DI 値の中で DI 値が大きい測点は損傷の影響を受けており、その測点近傍に損傷が存在すると考える。

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

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

3. 橋梁構造を用いた損傷検出実験

3.1 実験の概要

実験には図-1 に示す 2 主桁鋼鉄橋(橋長 6.450[m], 主桁間隔 1.677[m], 桁高 0.775[m])の主桁を使用し、加速度計を 15 個、加振器を 1 個設置し加速度測定を行った。加振は 1~800Hz を連続変化させた 20 秒間の Sweep 加振とし、測定のサンプリングは 10000Hz とした。検出する損傷を上フランジの質量付加で模擬し、質量付加位置を 2ch, 5ch, 11ch, 14ch 近傍の 4 箇所とした。

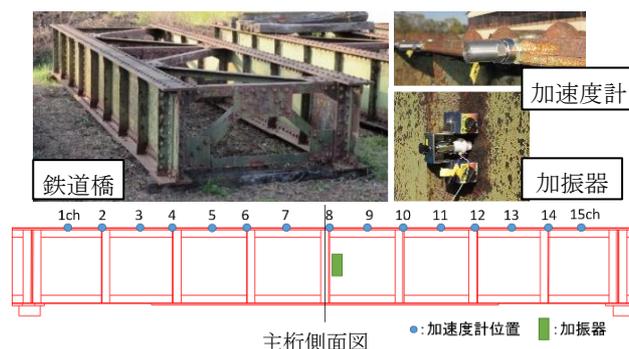


図-1 実験橋梁及びセンサー類と実験 1 のセンサー配置

3.2 実験 1 付加質量の変化による影響

図-1 に示すように加速度計と加振器を設置し、桁面外方向の加速度を測定する。実験ケースは付加質量を 2.9kg, 9.8kg, 13.9kg の 3 段階とし、軽い順に S1, S2,

キーワード：パワースペクトル密度, 局部加振法, 損傷検出評価方法

連絡先：〒090-8507 北海道北見市公園町 165 番地 TEL(0157)26-9471 (三上修一)

S3 と表記する。解析結果の一例として、5ch に質量付加した場合の各損傷ケースにおける DI 値の算出結果を図-2 に示す。解析周波数範囲は、振動が励起されておらず正確な結果が得られないと考えられる低周波数帯を除き、200~800Hz とした。S1 は損傷位置(5ch)以外の 8ch で特に大きく、12, 15ch の DI 値は 5ch と同程度の結果となった。S2 は 5ch が最大値となったが 8ch で同程度の値が得られ損傷位置の判断が難しい。S3 は 5ch で最大値となり、他の測定位置より突出していることから精度よく検出できている。また各周波数の影響を調べるため 200~800Hz の PSD データを 100Hz 毎に分けて DI 値を算出し、積上グラフで周波数帯による損傷の影響を確認した(図-3)。図-2 において特に大きな DI 値となった 1, 5, 8, 15ch に着目すると、600~800Hz の DI 値が大きいことが分かる。付加質量が増加したとき、この周波数帯の 8ch の DI 値は変化が小さく、5ch の DI 値は変化が大きいことから、600~800Hz の周波数範囲では質量付加の増加の影響を強く受けると考えられる。

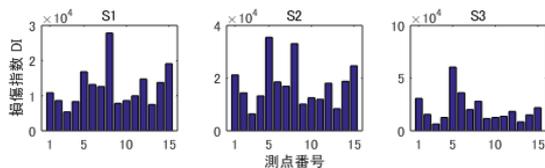


図-2 実験 1 の各ケースにおける DI 値

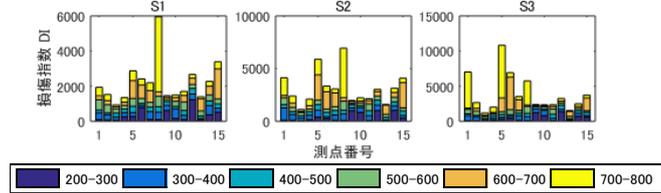


図-3 実験 1 の DI 値積上グラフ

3.3 実験 2 センサー配置位置による影響

センサー配置のケースは図-4 の桁断面図に示す配置位置を case1~3 とし、橋軸方向の配置位置は図-1 と同じとする。損傷は図-4 に示す位置に 2.9kg 質量付加することで模擬した。実験結果として 5ch に質量付加した場合の各ケースにおける DI 値を図-5 に示す。解析周波数範囲は前節と同様の理由から、200~800Hz とした。case1 は実験 1 の S1 と同条件であることから S1 の DI 値を表示している。case2 は 5ch と 1ch で特に大きな値が得られた。case1 に比べ損傷の影響が出ているが損傷位置の特定は難しい。case3 は 6ch に最大値、次いで 5ch に大きな値があり、精度よく損傷検出ができた。前節と同様に 200~800Hz のデータを 100Hz 毎に分け、DI 値を求め

たものを図-6 に示す。case1~3 に共通して、600~800Hz の DI 値が大きく、case2, 3 においては損傷位置付近で 600~700Hz の DI 値が特に大きくなった。このことから、600~700Hz の周波数帯では質量付加による擬似損傷の影響が大きいと考えられる。

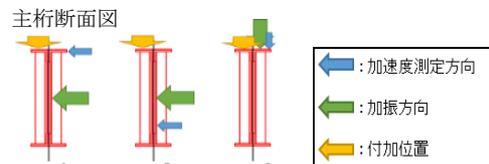


図-4 実験 2 のセンサー配置

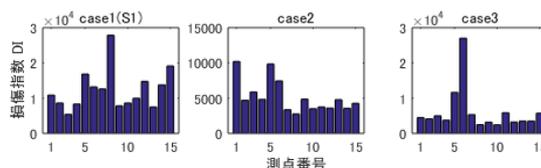


図-5 実験 2 の各ケースにおける DI 値

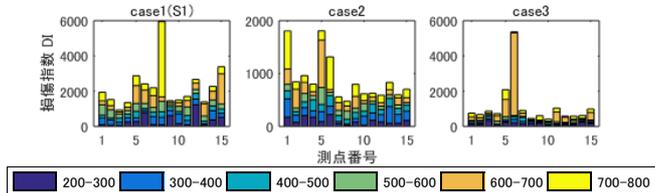


図-6 実験 2 の DI 値積上グラフ

4. まとめ

本研究では鋼橋を用いた実験による損傷検出手法の検討を行った。実験 1 の結果から、本実験で使用した鋼橋に対しては擬似損傷とする付加質量を 13.9kg とすることで精度よい損傷検出ができた。また、実験 2 の結果から、損傷による振動の変化が大きくなるように加振及び測定の方角を一致させ、損傷部材の剛性を考慮した位置・方向を設定することで、損傷検出の精度が上がることが確認できた。これにより付加質量が小さい場合にも、センサー配置位置によって精度よく損傷検出することが可能であると考えられる。加えて、本実験で使用した鋼橋では、解析周波数範囲 600~800Hz で質量付加の影響が大きいことがわかった。周波数帯ごとに擬似損傷の影響が異なる要因を求め、特に擬似損傷の影響が大きくなる解析範囲を用いることで検出精度の向上につながると考えられる。

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) 柳原，三上，山崎，宮森，大島，日向：局部加振法を用いた質量付加による損傷検出評価方法の検討，土木学会北海道支部論文報告集，第 72 号，A-55，2016。