

環境外乱が橋梁の減衰特性に与える影響の統計的評価

山梨大学大学院 学生会員 ○太田 小春, 山梨大学大学院 正会員 竹谷 晃一
山梨大学大学院 正会員 吉田 純司

1. はじめに

橋梁の劣化・損傷の早期検知や効率的な維持管理を目的として、常時微動などの振動応答を利用した橋梁ヘルスマニタリング(Bridge Health Monitoring: BHM)が行われている。BHMでは加速度やひずみ等の振動応答データから減衰比やたわみ量、固有振動数などの構造パラメータを逆解析で同定を行う。

減衰比は橋梁の床板や主桁などの上部構造物や支承、橋脚、地盤を含むシステム全体の振動エネルギー収支特性に依存する。橋梁部材に劣化や損傷が生じ、エネルギー収支のバランスが変化すると減衰比の変動として観測できると考えられる。しかしながら、減衰比はほかの構造パラメータと比較してバラつきが大きい。その要因として気温や交通などの環境外乱によってエネルギー収支のバランスが変動することや、計測や分析方法の影響が挙げられる。構造パラメータのバラつきを考慮した評価方法として、ベイズ推定などの統計的な処理が研究されてきた。

そこで本研究は、橋梁構造物の振動応答を用いた減衰比評価において、減衰比のバラつきの要因を整理し、気温や交通による影響を定量的に評価することを目的とした。実橋梁において長期的な振動計測を実施して減衰比の分析方法の検討を行い、環境外乱の影響を考慮した減衰比の統計的な評価を試みた。

2. 対象橋梁と振動応答計測

(a) 対象橋梁の概要

対象橋梁は山梨県甲府市の一般道路橋であり、9径間単独鋼桁橋で各支間長は約10m、片側1車線の対面交通で交通量は毎時600~900台である。計測地点は図-1に示すように、第1・2径間の支間中央と支承部の3点(第1径間から順に計測点A~C)において、中央桁の上フランジ下側にMEMS型加速度センサ(EPSON, M-A550)をネオジム磁石によって強固に接着している。ソーラーパネルと12Vシールドバッテリーを用い

て継続的な電気供給を可能にした。

(b) 振動モードの分析

分析対象とする振動モードを決定するため、計測点Aにおける加速度計測からパワースペクトル密度(PSD)を算出した結果を図-2(a)に示す。卓越振動毎にモード形状を算出するため位相解析を利用した多点移動計測を行った²⁾。その結果、図-2(b)に示すように14.5Hzが鉛直1次振動モードと考えられ、本研究の対象振動モードとした。

3. 減衰比の算出

(a) 常時微動データの抽出

気温の影響によって基線が数 mm/s^2 程度変動するため、60秒移動平均フィルタを用いて基線補正を行った後に閾値(2 mm/s^2)以下の振動成分を常時微動とみなしてデータの抽出を行った。

(b) データ長および窓長の検討

本研究では減衰比の算出方法として、計算コストが

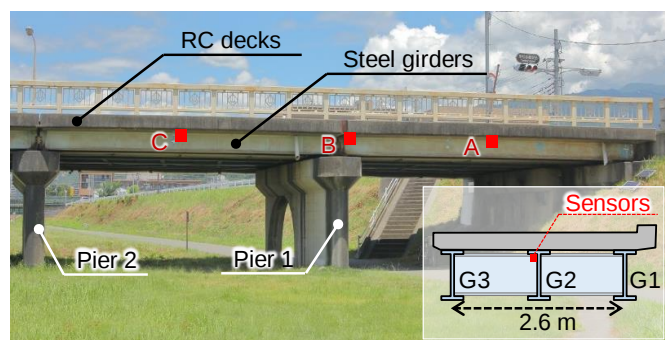


図-1 加速度センサの設置位置

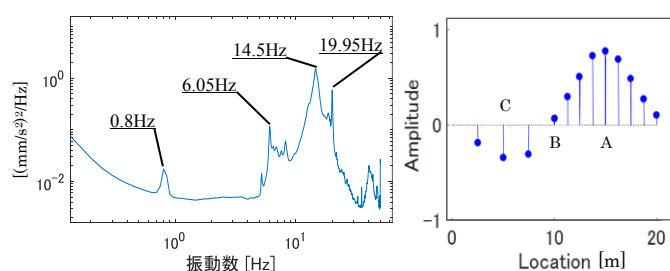


図-2 計測点 A における加速度応答の分析結果

(a) パワースペクトル密度, (b) モード形状分析 (14.5Hz)

キーワード 橋梁振動, 構造応答, 常時微動, 減衰比, RD 法, 確率密度分布
連絡先 〒400-8510 山梨県甲府市武田 4-3-1 (TEL) 055-220-8519

小さく将来的にマイコン等で処理可能なRD法を適用する。RD法適用時の課題としてあるデータ長・窓長の検討を計測データの分析から検討した結果を図-3(a)に示す。結果からデータ長は3時間、窓長は10周期分とした。分析は交通を含むデータと常時微動データを月別に分け行った。RD法により得られた自由減衰波形と減衰包絡線の例を図-3(b)に示す。

(c) 減衰比の確率密度分布

交通時の振動を含む計測データと常時微動時のデータについて月別に減衰比の分析を行った結果、減衰比の分布が変化することが明らかとなった。代表的な結果として夏季(8月)と冬季(12月)における減衰比の確率密度分布を図-4に示す。このことから減衰比は気温と負の相関があることが推測できる。

(d) 気温の影響分析

より詳細に気温の影響を分析するため、抽出した常時微動データを気温毎に整理して減衰比の分布の算出を行った結果を図-5に示す。ここで、筆者らが提案したRD法における決定係数を重みとした減衰比の同定手法³⁾を利用して、減衰比の気温による変動成分を多項式近似して得られた変動成分の曲線を図-6の黒破線で示す。

4. まとめ

外乱が減衰比に与える影響を評価するため、実橋梁において加速度の長期計測を実施して統計的な分析を行なった結果、以下の知見が得られた。

- 多点移動計測と位相解析を利用して振動モード形状の分析を行うことで対象振動数の決定を行った。
- RD法の適切な分析データ長と窓長の検討を行い、減衰比の確率密度分布を同定した。その上で、交通の有無や気温との関係を明らかにした。

本研究では減衰比のバラツキの要因について整理し、構造に起因する成分の同定を試みた基礎的な研究である。今後、構造に起因する減衰について詳細に分析を行うことでヘルスマonitoringに役立てたい。

【参考文献】

- 1) 五井良直, 金哲佑, 區兆駒: 統計的不確かさを考慮したベイズ推定による長大斜張橋の振動モード同定に関する検討, 土木学会論文集 A2, Vol. 72, No. 2, pp.751-762, 2016.
- 2) 貝戸清之, 松岡弘大, 渡辺勉, 曾我部正道, 藤野陽三: 走行列車荷重下における鉄道橋桁の動的応答

の特性とその利用, 土木学会論文集F, Vol.66, No.3, pp.382-401, 2010.

- 3) 竹谷晃一, 梅川雄太郎, 佐々木栄一, 小野拓朗: 橋梁ヘルスマonitoringのための加速度応答に基づく減衰評価方法の検討, 土木学会平成30年度全国大会第73回年次学術講演会講演概要集, I-083, 2018.

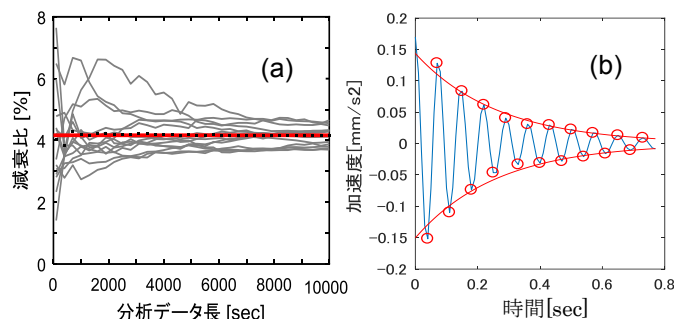


図-3 RD法を用いた減衰比の算出方法の検討

(a) 算出された減衰比とデータ長の関係

(b) RD法により得られた自由減衰波形と減衰包絡線の例

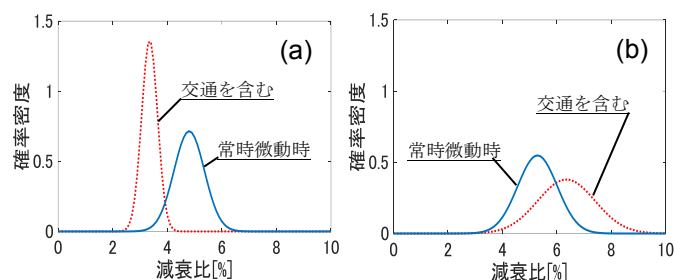


図-4 夏季(a)と冬季(b)における減衰比の分布の比較

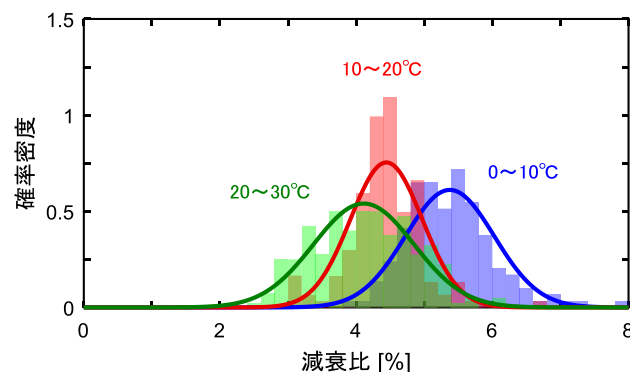


図-5 気温別の減衰比の確率密度分布

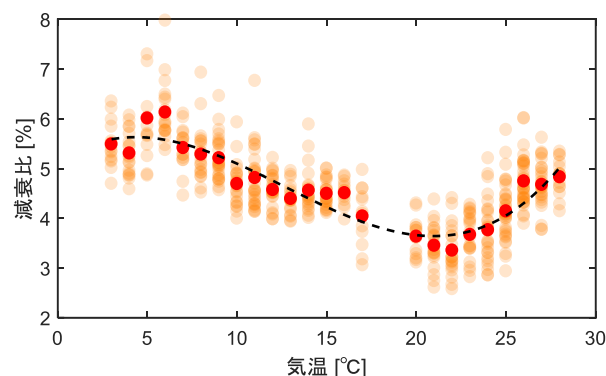


図-6 気温毎の減衰比の分布と重み付き平均および気温による変動成分の推定曲線