

ERAを用いた温度環境が橋梁の構造パラメータに及ぼす影響の分析

山梨大学大学院 学生会員 ○太田 小春, 東京工業大学 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を計測し減衰比や固有振動数、振動モード形などの構造パラメータを逆解析で同定するのが一般的である。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、地盤を含めた橋梁の構造システム全体の振動エネルギーの収支に依存するため、橋梁の性状を評価するパラメータになり得ると考えられている¹⁾。しかし他の構造パラメータに比べバラつきが大きく、その原因のひとつとして気温の影響が考えられる。筆者らは既往の研究において、RD法を用いて気温と減衰比の関係を示した¹⁾。

本研究は、橋梁構造物の振動応答を用いた構造パラメータの分析において、減衰比のバラつきの要因を整理し、気温の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、ERA法²⁾を用いた分析と気温の影響を考慮した構造パラメータの評価を行った。

2. 対象橋梁と振動応答計測

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。サンプリング周波数は100Hzとした。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。本研究では2018年8月から2020年2月までのデータを利用した。

3. 固有値の算出

(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/s²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、閾値(2mm/s²)以下の振動成分を常時微動とみなしデータの抽出を行った。(図-2)

(b) ERA (Eigensystem Realization Algorithm) 法

常時微動データを0°Cから30°Cまで1°C毎にデータセットを作成し、データ長を3時間として分析を行った。図-3はERA法により同定された振動数とシステム次数の関係を表しており、ERA法の指標であるMAC (Modal Amplitude Coherence) 指数とEMAC (Extended MAC)指数によってそれぞれフィルタリングを行っている。MAC指数は0.8以上、EMAC指数は0.6以上とし、システム次数は31次としている³⁾。例えば8°Cのデータでは14.5Hzと20.9Hzが卓越し、他の温度でも同じ傾向がみられた。また既往の研究で1次モードとした14.5Hzと整合したため以降はこの二つの周波数に着目し分析した。

(c) 固有振動数

気温 T における n 個のデータセットにおいて、着目した振動数に最も近く、システム次数が15次以上の

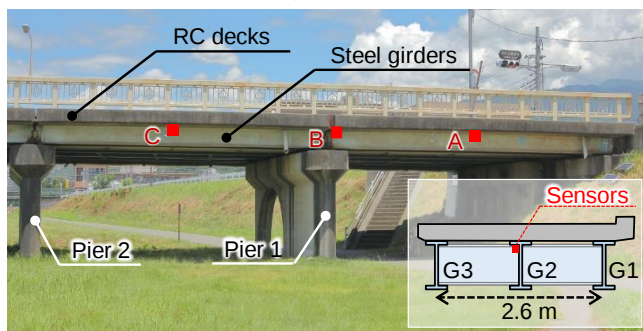


図-1 加速度センサの設置位置

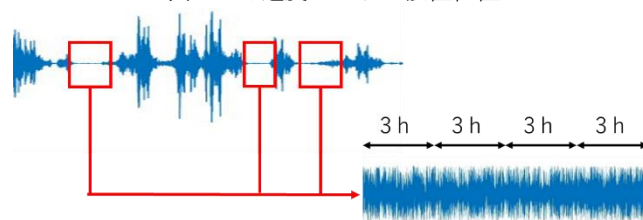


図-2 常時微動抽出と分析毎のデータ長

キーワード 橋梁振動, 構造応答, 常時微動, ERA 法, 減衰比, 構造同定
連絡先 〒400-8510 山梨県甲府市武田 4-3-11 (TEL) 055-220-8519

値を平均したモード振動数 $F_T(n)$ をそれぞれ算出した(図-3(a)). 気温 T における n 個の振動数 $F_T(n)$ とMAC指数 $M_T(n)$ を用いて, 重み付き平均振動数 $\overline{F_T}$ を式(1)のように算出した.

$$\overline{F_T} = \frac{\sum_n M_T(n) \cdot F_T(n)}{\sum_n M_T(n)} \quad (1)$$

モード毎の平均振動数と気温の関係を図-4に示す. 着目した2つの振動数は気温と負の相関がみられた.

(d) 減衰比

固有振動数と同様に, 1°C毎のデータセットからERAを用いて算出した減衰比と, MAC指数で重み付き平均をとった平均減衰比を算出した(図-5). 各減衰比にバラつきはあるものの, 平均減衰比と気温の関係には一定の傾向がみられた. 14.5Hzと20.6Hzどちらも気温15°C付近で平均減衰比は極大値を示していた. 橋梁の温度伸縮による伸縮装置の接触の影響が考えられ, 原因の解明を進めていく.

5. まとめ

気温が構造パラメータ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ERA法を用いて分析を行なった. ERAの指標であるMAC指数によるフィルタリングを行い, 14.5Hzと20.9Hzの振動モードに着目したうえで, 振動数および減衰比と気温の関係を明らかにした.

本研究は構造パラメータ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. 今後はRD法とERA法による算出結果の比較分析を行うとともに, 実橋梁での計測と数値解析モデルを用いて減衰比を含む構造パラメータの変動の原因を明らかにしていく.

【参考文献】

- 1) 太田小春, 竹谷晃一, 吉田純司: 交通や環境外乱が橋梁の減衰特性に与える影響の統計的分析, 土木学会令和元年度全国大会第74回年次学術講演会講演概要集, I-049, 2019.
- 2) 長山智則, 阿部雅人, 藤野陽三, 池田憲二: 常時微動計測に基づく非比例減衰系の非反復構造解析と長大吊橋の動特性の理解, 土木学会論文集No.745 / I-65, 155-169, 2003. 10
- 3) 吉岡勉, 伊藤信, 山口宏樹, 松本泰尚: 鋼トラス橋の斜材振動練成とモード減衰比変化を利用した構造健全度評価, 土木学会論文集A Vol.66 No.3, 516-534, 2010.8

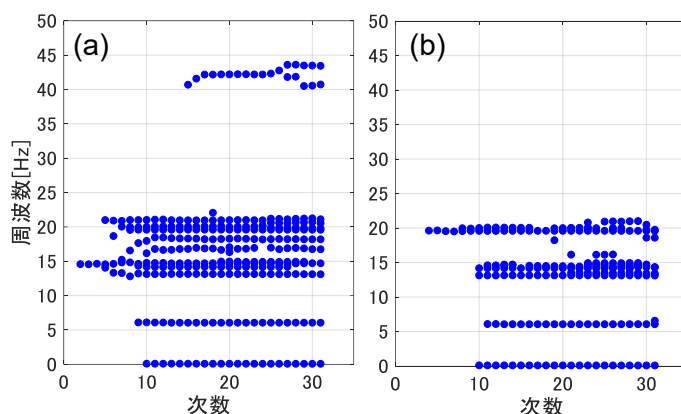


図-3 ERA 法 3 時間分析による周波数の抽出 (8°C)

(a) MAC 指数 0.8 以上の振動数

(b) EMAC 指数 0.6 以上の振動数

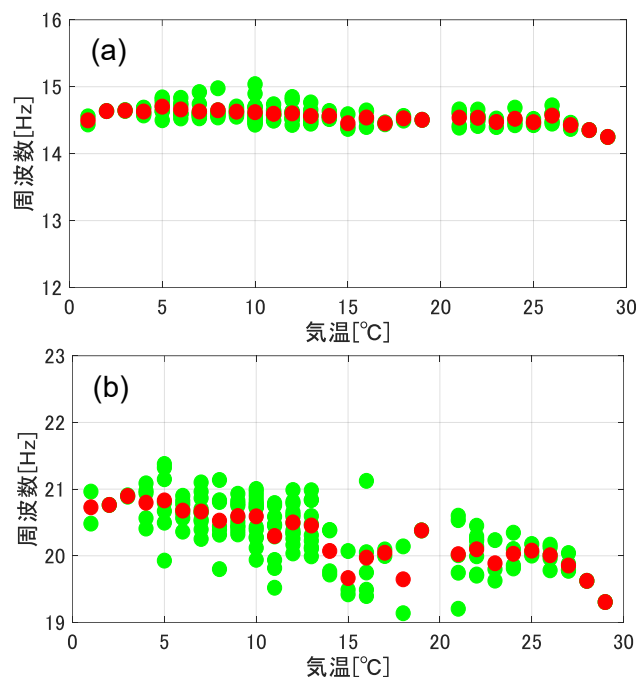


図-4 周波数と気温の関係 (a)14.5Hz (b)20.9Hz

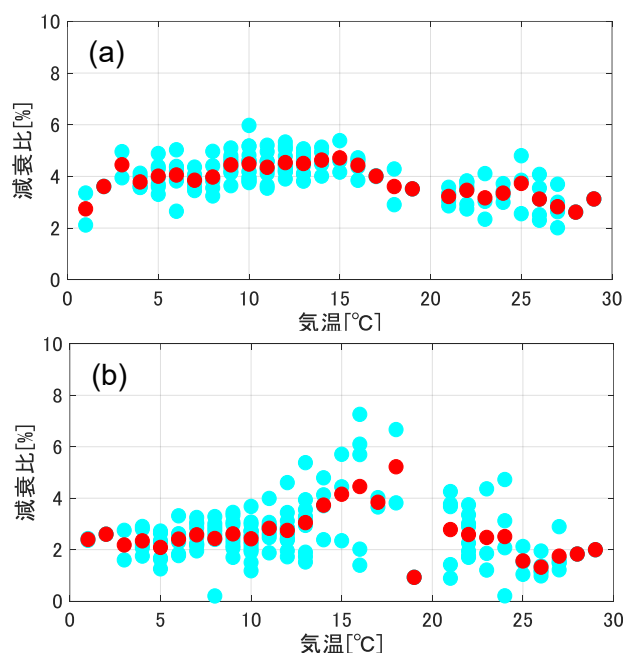


図-5 減衰比と気温の関係 (a)14.5Hz (b)20.9Hz