

構造応答の温度変動を考慮した橋梁ヘルスマニタリングの提案

山梨大学大学院 学生会員 ○森 淳輝, 山梨大学 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 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。しかし振動応答から算出される固有値の変動は気温の影響を受けやすく¹⁾、誤った評価につながる懸念される。そのため影響を差し引く、または影響を考慮した構造パラメータ分析の構築が必要となる。本研究では実橋梁における長期的な振動応答と気温の計測を基に構造パラメータを算出し、気温と関連付けることで気温の変動に伴う構造パラメータの挙動を分析し、影響を評価する。

2. 実橋梁における計測実験

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車線の対面交通である。計測地点は図-1に示す3点(第1径間から順に計測点A~C)である。図-2に示すように3つあるH形鋼のうち中央の桁上フランジ下側にMEMS型加速度センサをネオジム磁石によって強固に接着している。加速度センサは検出範囲が±5G、計測帯域が50Hz、分解能が0.06 μGであり、サンプリング周波数を200Hzに設定した。また、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ている。計測期間は2018年8月から2020年2月までで、期間中の2019年1月23日にレーザー変位計測と道路上の車両のビデオ撮影を行っている。

3. 構造パラメータの算出

既往の研究²⁾において著者らは振動モードを詳細に分析できるNExT-ERA法を用いて固有振動数とモード減衰比の同定を行った。本研究においては固有振動数や減衰比に加えて、温度変化による影響線への影響を評価する。影響線は図-4に示すようにたわみ量を加速度の2回積分から算出し、その結果を用いて影響線を直接探索法³⁾により逆推定する。ただし、この推定では前輪と後輪の重量を決めるための車種識別が必要となる。そこで本研究では車種識別の方法として、算出したたわみ分布と車種が既知のたわみ分布との一致度から車種を識別した。

計測した加速度をそのまま2回積分した結果、図-5に示すように低振動成分ノイズや積分誤差の累積から積分結果にドリフトが生じていた。従って算出過程での補正が必要となる。具体的な方法として車両通行を含む加速度データと常時微動にデータを分けてそれぞ

れ積分する。車両通行を含むデータの積分結果から常時微動の積分結果(基線)を差し引くことでドリフトを除去する。図-6に実測値と本手法によりドリフト除去したたわみ分布を示す。図-6から両者は概ね一致していることが分かるため、本手法において提案した積分方法が妥当であるといえる。

次に影響線の推定については、影響線の初期値と軸重を設定した後に前輪と後輪の通過時刻歴をあてはめそれぞれ軸重倍した二つのたわみ分布を重ね合わせることで車両によるたわみ分布を再現する。このたわみ分布と実測によるたわみ分布との差が最小になるよう影響線を推定する。この時、最小値を探索する手法として直接探索法を使用した。図-7に算出した影響線の推定値とレーザー変位計による実測値を示す。両者は概ね一致していることから提案した推定手法が妥当であるといえる。

4. 気温の影響分析

上記3.で同定した構造パラメータを気温ごとに分類し、気温変化における挙動を分析した。固有振動数と減衰比は常時微動を気温ごとに分類し、1~30℃までの常時微動を入力値とし1℃毎に同定結果を得る。一方、たわみ分布と影響線は車両が通過する時刻の気温を用いて分類した。以下では影響線について分析した結果を示す。

図-8は算出された影響線を0~5℃、5~10℃、10~15℃、15~20℃、20~25℃、25~30℃毎に分類し、各温度範囲の影響線の平均した図である。図-8より気温に対する影響線の変化は最大でも0.003mmと小さく、影響線が温度に対してロバストであることが分かった。

5. まとめ

本研究では実橋梁における加速度記録を基に構造パラメータを算出し、構造パラメータに対する気温の影響を評価した。具体的には加速度記録から車両通過時のたわみを抽出し、直接探索法により影響線を逆推定した。また影響線の気温変化は微小で、気温による影響は小さいことが分かった。

【参考文献】

- 1) 三木千壽, 古東裕介, 佐々木栄一, 齋藤一成, 石川裕治: 光ファイバセンサシステムを用いた都市高速道路橋の長期計測モニタリング, 土木学会論文集A1(構造・地震工学), Vol. 71, No. 3, pp.416-428, 2015
- 2) 太田小春, 竹谷晃一, 吉田純司: 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, 土木学会令和二年度前項大会第75回年次学術講演会公演概要集, I-332, 2020
- 3) 高濱徹行, 阪井節子: 制限付き非線形最適化手法 α 制約法によるファジー制御ルールの最適化, 電子情報通信学会論文誌A, Vol. J82-A, pp.658-668, 1999, 5

キーワード BHM, 橋梁振動, 構造応答, 常時微動, 影響線

連絡先 〒400-8510 山梨県甲府市武田 4-3-11 (TEL) 055-220-8519

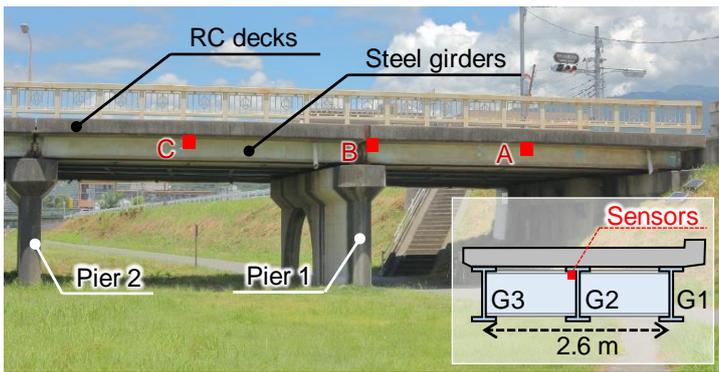


図-1 実橋梁と加速度センサの設置位置

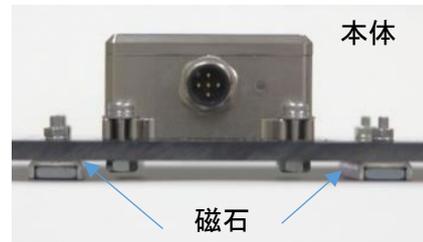


図-2 加速度センサと仕様

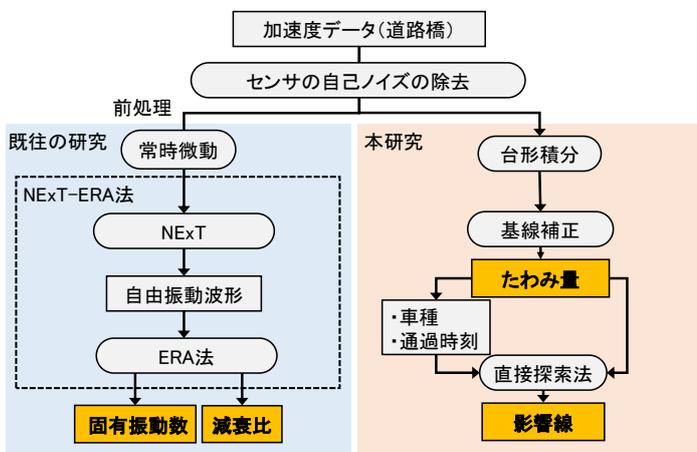


図-3 構造パラメータの同定手順

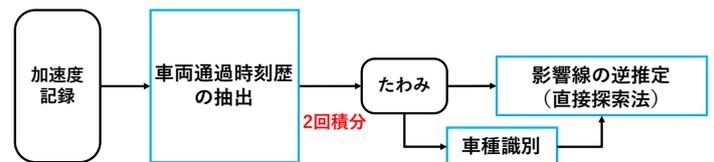


図-4 加速度記録から影響線を算出する手順

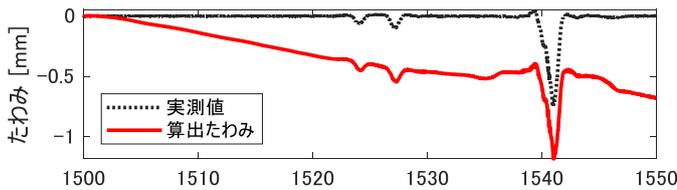


図-5 たわみの実測値と加速度記録からそのまま積分した結果の比較

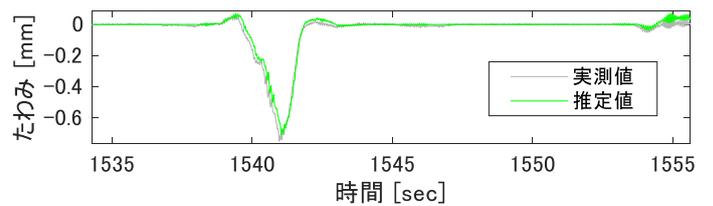


図-6 たわみの実測値とドリフト補正後に加速度記録を積分した結果の比較

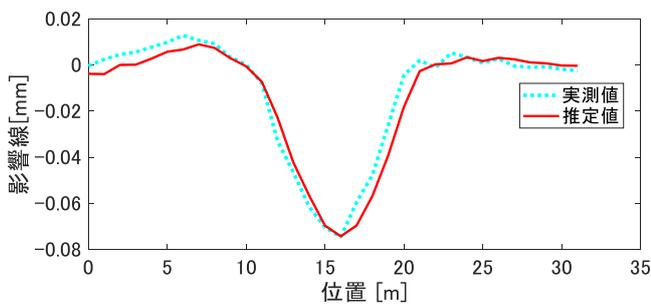


図-7 レーザー変位計による実測値と本手法により算出した影響線の推定値

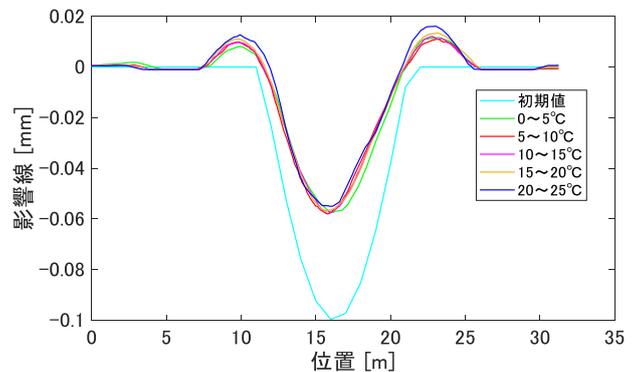


図-8 本手法により推定された温度ごとの影響線