

加速度応答を用いた変位応答モニタリングに関する検討

株式会社 TTES
岐阜大学

正会員 ○梅川 雄太郎、菅沼 久忠
正会員 木下 幸治 学生会員 小野 友暉

1. はじめに

全国に約 70 万以上あるとされる橋梁の高齢化が進行しており、インフラ構造物維持管理の重要性が高まっている。そのような中、維持管理に関わる技術者の人材不足を補うべく、センサを用いた構造ヘルスマニタリングによる効率的な維持管理手法に関する研究・開発が試みられている。しかしながら、構造ヘルスマニタリングにより算出される指標の多くは、従来の基準類には定義されていない新しい概念であるため、維持管理に利用し、判断材料として使用することが難しい。また、効率的に維持管理すべき多くの中小橋梁を抱える地方自治体は財源不足であり、最小限の費用で可能な限り多くの橋梁を簡易に点検可能にする手段が望まれている。

本研究では、最小限の労力と費用で中小橋梁を効率的に維持管理する方法について検討することを目的とする。道路示方書で定義されている「たわみの許容値」に着目し、車輛通行荷重により発生するたわみ量、すなわち変位応答を監視するモニタリング方法を検討することとした。また、変位応答のモニタリング方法は、加速度応答の 2 階積分による算出を用いることとした。加速度計は、橋梁構造物の変位計測において必要な不動点を必要とせず、また、無線化可能であり、現場での高い作業性が期待できるためである。

本論では、試験車輛通行荷重による変位応答を、加速度応答より算出する方法について検討し、計測変位応答と算出変位応答を比較することで、算出方法の精度・誤差を評価する。また、試験車輛通行荷重に伴い発生する変位応答結果より、橋梁のたわみの許容値に関して、荷重に対する最大変

位応答の関係より使用限界について検討を行う。

2. 加速度応答を用いた変位応答の算出

加速度センサにより計測した応答を分析し、車輛通行時の橋梁の変位応答を算出する方法について示す。理論的に変位応答は加速度応答の 2 階積分により定義される。しかしながら、実際の積分過程では、加速度センサ自体が持つ自己ノイズの影響により、大きな積分誤差が生じるため、加速度センサの性能および積分処理の工夫が重要となる¹⁾。特に、車輛通行による変位応答は準静的な半波長応答であり、積分誤差と混在する変位応答を判別・処理することが難しい²⁾。

文献¹⁾では複数の加速度センサを利用し、車輛検知することで変位応答算出する方法も提案されているが、本検討の主旨として、最小限の計測機器での実現を目標とし、加速度センサは 1 個のみを使用して変位応答を算出することとした。本研究では、変位応答算出プログラムは事前に橋梁の情報(長さ等)を入力し、加速度応答から変位応答の変換はブラックボックス化して実施した。積分誤差の影響と変位応答を自動判別し、基線補正処理可能な手法を考案・適用することとした。

3. 対象橋梁および計測概要

対象橋梁および計測機器の設置位置を図 1 に示す。対象橋梁は、1 車線であり、支間長約 24[m]、全幅員 4.9[m]の鋼単純 H 桁橋である。加速度センサは支間中央から約 3[m]離れた主桁下フランジ上に設置した。また、同位置にロッドを地面まで伸ばし、その先端に接触式変位計を設置し、加速度応答からの変位応答への算出精度の確認用として利用した。加速度センサと変位計は同じデータロガーに接続し、時刻同期を行っている。なお、デ

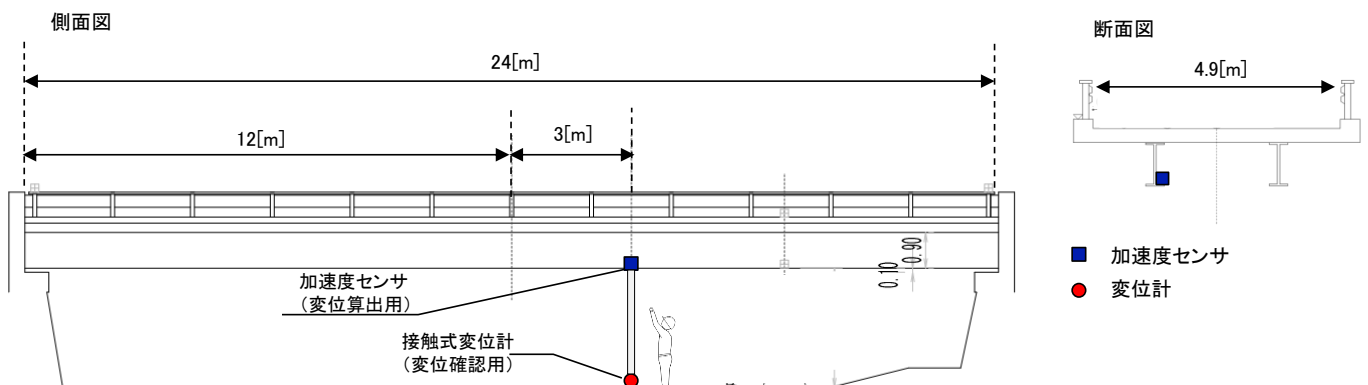


図 1 対象橋梁側面図、断面図および計測設置位置詳細

キーワード 構造ヘルスマニタリング、桁たわみ、使用限界、加速度応答、変位応答

連絡先 〒153-0051 東京都目黒区上目黒 3-30-8 (株)TTES TEL:03-5724-4011

一タのサンプリング周波数は、100[Hz]とした。

4. 走行試験概要

走行試験の様子を図2に示す。試験車両は2軸車で全重量は6[ton]であった。走行試験は左右両方向へ橋面上を走行した。通過速度は約20[km/h]で、ビデオの記録や計測した変位応答を確認すると約7秒経過している。すなわち、通過に伴い発生するたわみ成分は、積分誤差が卓越する1[Hz]以下周波数成分であると確認できる。

5. 算出変位応答の誤差・精度評価

走行試験において、試験車両通行に伴い発生する鉛直方向加速度応答と変位応答の計測結果の例を図3に示す。最大で約2[mm]の計測変位応答が確認できる。得られた鉛直方向加速度応答を独自手法により積分処理することにより、図4の結果が得られた。計測変位と算出変位で傾向が一致していることが確認できる。最大変位に着目すると、計測変位が1.84[mm]に対して、算出変位は2.08[mm]であり、約10[%]の相対誤差である。また、分析区間全体の計測変位と算出変位の誤差を評価すると、標準偏差の3倍(約99%確率領域)は0.16[mm]であり、加速度応答から算出した変位応答の算出精度は±0.16[mm]と評価できる。走行試験毎の算出精度を評価し、表1にまとめた。各試験についても、算出精度が1[mm]以下であることが確認できた。

6. 変位応答に基づく使用限界評価に関する検討

道路橋示方書に定義されているたわみの許容値の算出式に従うと、今回の対象橋梁の場合、たわみ制限、すなわち使用限界は約29[mm]である。加速度応答からの変位応答への算出精度誤差は、それと比較して約1%以下であることから、車輛通行荷重に対するたわみ量を加速度応答より算出し、評価するには十分な精度であると考えられる。

最大たわみ量が荷重に対して線形の関係を保定した場合、制限値である29[mm]に到達する荷重は約95[ton]と予想される。しかしながら、実際に



図2 走行試験の様子および試験車両

これほどの荷重は想定して設計されていない上に、非線形な挙動が突然発生することも考え得るため、変位応答のみによる使用限界の評価方法に関して、今後、更なる検討の余地がある。

7. まとめおよび今後の展望

橋梁の維持管理を最小限の費用で効率的に行う方法として、車輛通行荷重に対する加速度応答を用いた変位応答モニタリングに関する検討を行った。

1. 加速度応答よりブラックボックス化された積分処理によって、橋梁の使用限界判断に直接利用可能である変位応答を算出できた。
2. 加速度応答より算出した変位応答の精度は、たわみの許容値に着目した使用限界の判断を行う上では十分な精度であることが分かった。
3. 変位応答モニタリングによるたわみの許容値に着目した使用限界評価を行う方法に関して、更なる検討の余地があると考えられる。

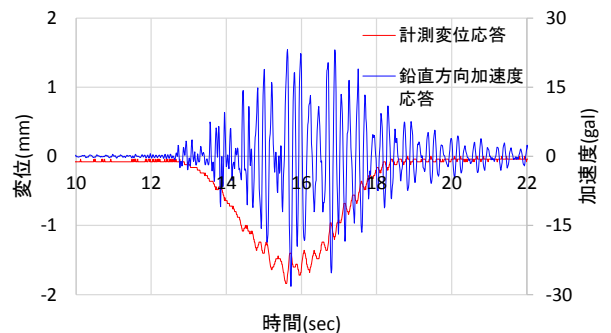


図3 車輛通行時の計測変位応答および鉛直加速度応答

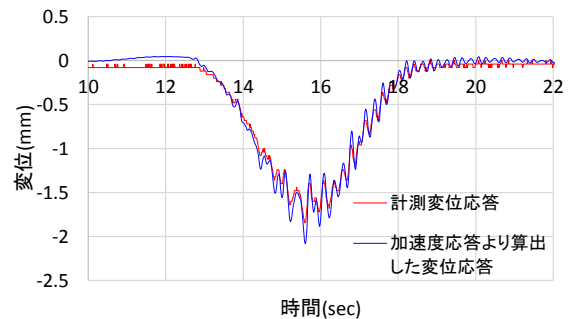


図4 鉛直加速度応答より算出した変位応答と計測変位応答の比較

表1 走行ケース毎の算出変位応答の精度・誤差評価結果

走行No.	走行方向	最大変位[mm]	算出最大変位[mm]	精度[mm]
1	右	1.60	1.62	±0.25
2	左	1.68	1.92	±0.17
3	右	1.68	2.08	±0.21
4	左	1.84	2.08	±0.16
5	右	1.56	1.77	±0.13
6	左	1.76	2.08	±0.18

参考文献

- 1) 関屋ら: "橋梁の加速度記録を用いた変位応答算出法の提案", 土木学会論文集 A1(構造・地震工学), Vol. 72, No. 1, 61-74, 2016.
- 2) 梅川ら: "Evaluation of Vehicular Induced Displacement by Using Wavelet Transformation from Wireless Acceleration Measurement", IABSE Symposium Report, IABSE Workshop Helsinki 2015: Safety, Robustness and Condition Assessment of Structures.