

中小橋梁モニタリングシステムにおける計測条件がたわみ特性値に与える影響

山口大学 学生会員 ○田中英哲 山口大学 学生会員 永田雅大
山口大学 正会員 江本久雄 山口大学 フェロー会員 宮本文穂

1. はじめに

我が国では高度経済成長期に建設された橋梁の高齢化が進んでいる¹⁾。そのため、定期的に点検を行い、損傷を早期発見することが望まれる。そこで、我々は路線バスの後輪バネ下に加速度センサを設置し、橋梁の性能低下を検知するシステム²⁾の実用化を目指している。本研究では、撤去橋梁を対象として、種々の計測条件がたわみ特性値に与える影響に関して検討を行った。

2. 路線バスによる橋梁モニタリングシステム

本システムは、公共交通機関である路線バスを利用したモニタリング手法である。橋梁上を通過する移動車両(バス、軽自動車)のバネ下鉛直加速度を2回積分することで推定たわみを求め、その推定区間の平均値を「たわみ特性値」として定義する。この指標は、橋梁と車両の振動特性と路面凹凸による動的変位の影響が少ない²⁾。ここで、たわみ特性値算出手順を図-1に示す。

3. 撤去橋梁での実証実験

本実験の対象橋梁は、図-2に示すような橋長168.29m、8径間、ゲルバーRC-T桁橋である。解析検討区間は番号片側より3径間(図-2中の径間番号①、②、③)とし、橋梁上2径間目(図-2中の径間番号②)の橋軸方向の中央に加速度センサを設置している。実験の流れとしては、移動車両側のバネ下鉛直加速度を測定しながら、橋梁を一定の速度で、15往復し、「たわみ特性値」を計算する。

本実験は、計4回実施したが、本検討では、季節の違いがたわみ特性値に与える影響を検討するために2012年9月11日(夏)、2013年1月10日(冬)の2回のデータを用いる。橋梁上を重量約15tのバスで走行し鉛直方向の加速度から「たわみ特性値」の算

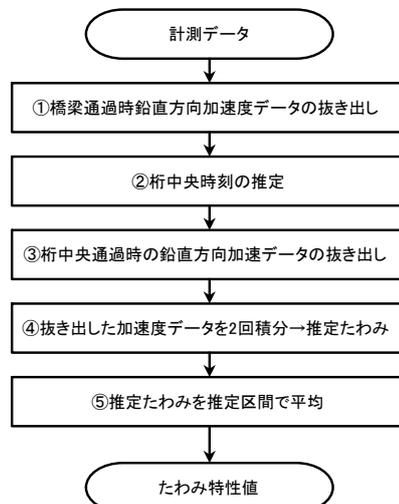


図-1 たわみ特性値の算出手順

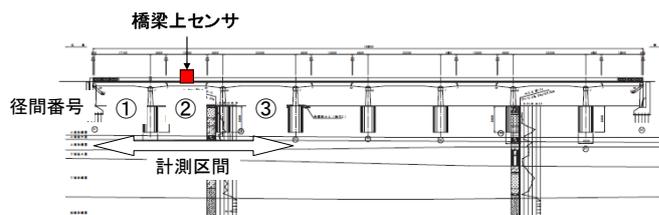


図-2 対象橋梁の一般図

出を行う。また、車両の重量の影響を検討するためにも、重量約1tの軽自動車での計測も実施した。なお、撤去中の橋梁であるため、他の車両の通行がなく、車両ごとに様々な速度で計測を行った。

3.1 車両後輪バネ下と橋梁の加速度応答の比較

図-2で示した橋梁上のセンサの車両通過時の加速度応答例を図-3に示す。図-3(a)から、バスの走行時には、橋梁が振動していることは確認できるが、図-3(b)から軽自動車の場合、橋梁が振動しているのかの判断は難しい。また、図-4に橋梁通過時のバスの後輪バネ下振動と橋梁上の加速度応答を示す。この図から、橋梁とバスの後輪バネ下の加速度応答を比較したとき、後輪バネ下の方が大きい値をとっているが、2つの波形は橋梁進入時、ゲルバー位置においても、おおよそ近似していることが確認できる。

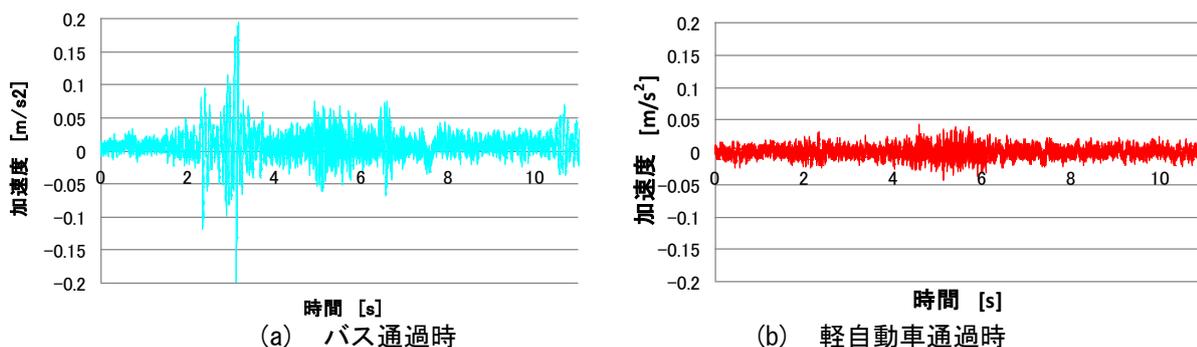


図-3 橋梁上の加速度応答の例

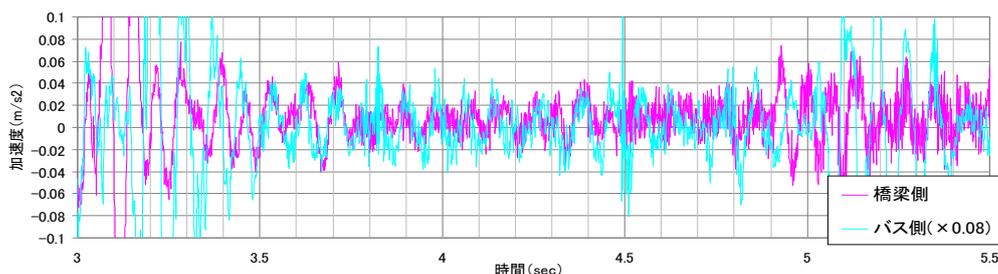


図-4 バスと橋梁の加速度応答の比較

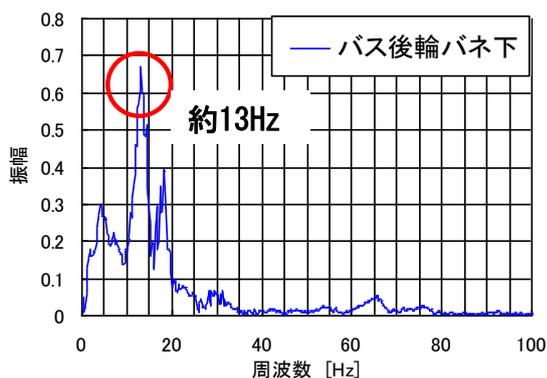


図-5 バスの振動特性

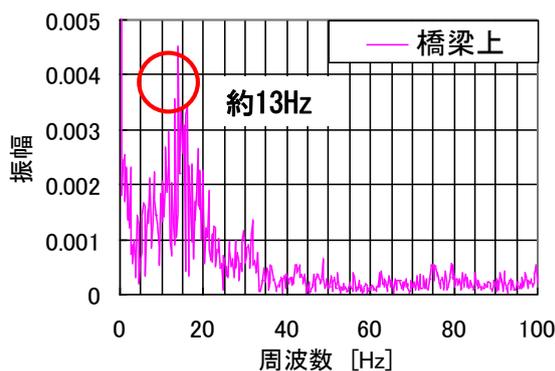


図-6 バス通過時における橋梁の振動特性

このことから、バスの後輪バネ下振動から橋梁の振動性状を抽出できると考えられる。しかし、軽自動車の場合では橋梁上の加速度応答においてゲルバー位置などの特徴的な波形が確認できず、橋梁の振動性状を抽出できるかどうか不明瞭である。

3.2 橋梁とバスの振動特性に関して

バスが橋梁を通過することで、橋梁が振動するのを確認するため、加速度応答に対してフーリエ変換を行った。さらに、バスの振動特性を把握するために、乗り上げ試験を実施した。これは、10cm程度の段差を設けてそれをバスが乗り越えた際の振動を計測した。乗り上げ試験の鉛直方向加速度のフーリエ変換の結果を図-5に示す。この結果から、バスの固有振動数は13Hz付近であることが分かった。バス

通過時の橋梁上センサの加速度のフーリエ変換結果は図-6に示すように、約13Hzの周波数が含まれていることが分かる。このことから、バスの通行により橋梁が振動していることが分かる。

4. 計測条件がたわみ特性値に与える影響について

4.1 センサ設置位置の影響

バスのセンサ設置箇所としては、バス後輪バネ下の左右と真中の3箇所である。加速度センサの設置位置の違いによって「たわみ特性値」がどう変化するかを検討した。算出箇所は、図-2に示した径間②で、バスの時速30km/hの結果を表-1に、その推移を図-7に示す。結果として、「たわみ特性値」を15回平均した時に後輪左のセンサの平均が中央、右の

表-1 たわみ特性値 (mm) 算出結果
(バス速度: 30km/h)

	左	中	右
1回目	-1.8301	-2.0300	-1.6187
2回目	-0.4248	-1.8937	-1.9187
3回目	-1.9527	-1.2176	-1.5870
4回目	-1.1270	-1.1183	-0.6826
5回目	-0.9240	-1.1772	-1.4860
6回目	-0.4441	-1.4200	-1.0179
7回目	-1.2281	-1.3387	-0.6991
8回目	-0.9598	-1.5222	-1.3175
9回目	-0.7701	-1.9182	-1.8665
10回目	-1.8111	-1.2223	-1.3313
11回目	-1.6395	-1.3338	-1.3852
12回目	-0.4208	-1.4299	-1.1774
13回目	-0.5823	-1.7695	-1.4418
14回目	-1.8190	-2.4359	-2.7547
15回目	-0.7023	-1.2303	-1.7919
平均	-1.1091	-1.5372	-1.4718
標準偏差	0.549108683	0.372702525	0.496875238

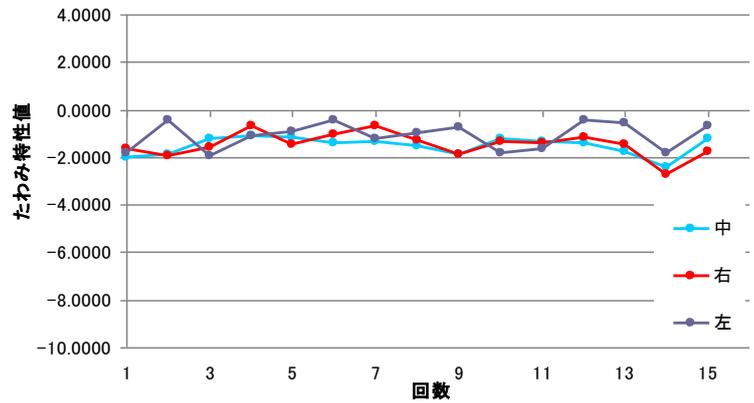


図-7 たわみ特性値 (mm) の推移 (バス速度: 30km/h)

値に比べやや小さいが、大きな値のずれなどはなく、どの設置位置でも問題なく測れていると考えられる。また、センサ設置位置それぞれの加速度応答を図-8に示す。この図からセンサ設置位置による波形の違いは確認できない。従って、車両にセンサを設置する場合、後輪バネ下付近であれば、どの位置にセンサを設置しても「たわみ特性値」には影響を与えないと考える。

4.2 走行速度の影響

車両が橋梁を通過する際、速度が遅くなれば橋梁を通過する際にかかる時間も延びることになる。速度毎のたわみ特性値を算出する際のデータ抜き出し区間を時間で区切るのではなく、同じ区間の距離で判断した。第1回目計測のバスの10km/h, 20km/h, 30km/hのたわみ特性値算出結果(後輪車軸中央)を表-2, 図-9に示す。この図から、速度が遅くなれば「たわみ特性値」が大きくなっていることが分かる。これは、バスが橋梁を走行する時間の長さが「たわみ特性値」に影響を与えていることが分かる。

4.3 季節の影響

夏と冬に実施した実験結果から、季節つまり気温の変化が「たわみ特性値」に与える影響について検討する。季節毎のバス30km/hのたわみ特性値15回平均の結果を表-3に示す。なお、その際のデータ抜き出し区間は統一している。第1回目と2回目の「たわみ特性値」の平均値の差は、約0.3mmである。こ

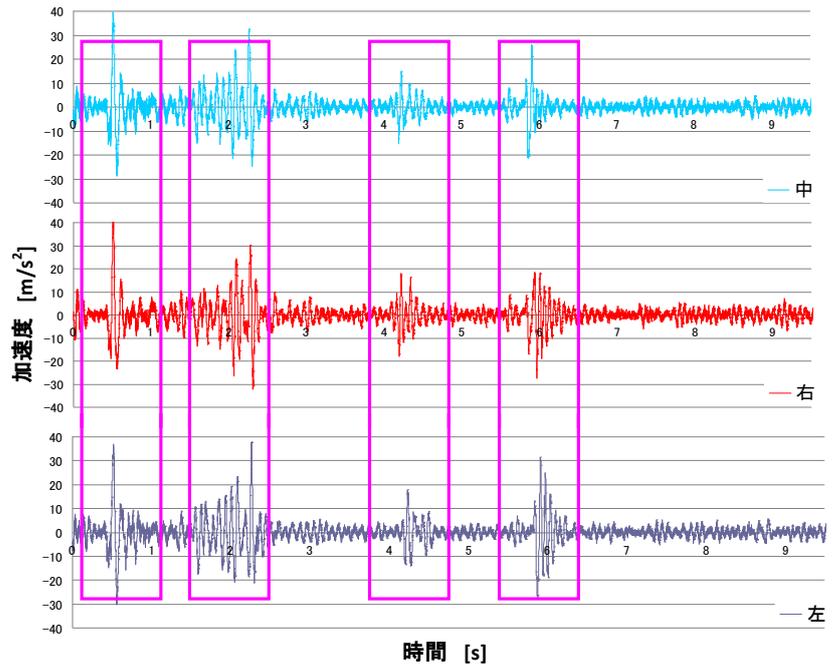


図-8 センサ設置位置別の加速度応答の比較

れから、気温による「たわみ特性値」の変動はあると判断でき、影響を与えることが分かる。これは、コンクリート構造物において温度による体積変化があり、それが影響したものと考えられる。

4.4 車両重量の影響

重量が異なる車両によって計測した結果から、「たわみ特性値」にどのように影響するのかを検討する。軽自動車の「たわみ特性値」を表-4に示す。これから、中央のたわみ特性値がかなり大きくなっている、これはセンサ設置が甘くノイズが入っているためだと考える左右のセンサの値を見ると軽自動車での計測も可能に見える。ここで、バスの後輪バネ下(右)加速度応答と軽自動車の後輪バネ下(右)加速度応答を図-10に示す。これから軽自動車の加速度応答

表-2 速度別たわみ特性値(mm)算出結果の一覧

	30km/h	20km/h	10km/h
1	-2.0300	-1.86338	-3.31696
2	-1.8937	-1.80797	-4.3488
3	-1.2176	-0.72332	-4.0285
4	-1.1183	-2.50038	-2.9712
5	-1.1772	-1.95958	-4.7457
6	-1.4200		
7	-1.3387		
8	-1.5222		
9	-1.9182		
10	-1.2223		
11	-1.3338		
12	-1.4299		
13	-1.7695		
14	-2.4359		
15	-1.2303		
平均	-1.53718	-1.77092	-3.88223

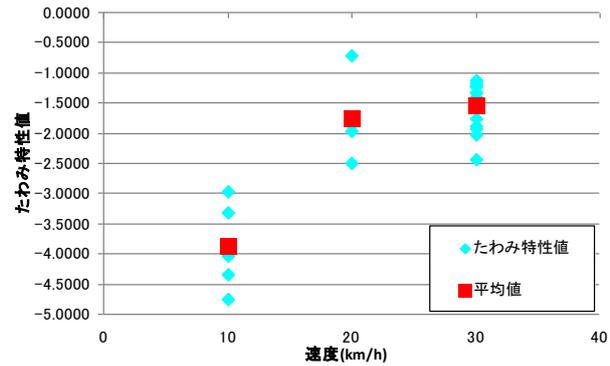


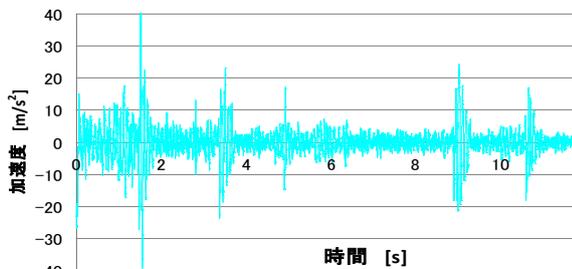
図-9 速度別たわみ特性値(mm)とその平均値

表-3 季節別たわみ特性値(mm)の平均値

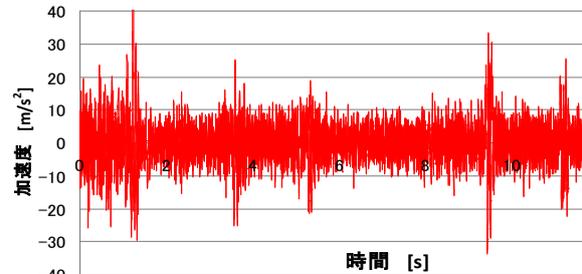
季節	センサ位置	左	中	右
夏	平均	-1.10906	-1.53718	-1.47175
	標準偏差	0.549109	0.372703	0.496875
冬	平均	-0.8112	-1.2368	-1.1622
	標準偏差	0.308214	0.318046	0.73156

表-4 軽自動車でのたわみ特性値(mm)の算出結果

	左	中	右
1回目	-0.8244	-2.1691	-1.2487
2回目	-1.8387	-3.6984	-1.4505
3回目	-1.1675	-6.3555	-0.8484
4回目	-1.7661	-4.2923	-1.8041
5回目	-1.2508	-3.3375	-2.6423
平均	-1.36948	-3.97055	-1.59881
標準偏差	0.381951	1.379259	0.606401



(a) バス後輪バネ下



(b) 軽自動車後輪バネ下

図-10 各車両の走行時の後輪バネ下の加速度応答の比較

の方が大きいことが分かる。これはバスに比べ重量が軽いため、走行中路面凹凸などの影響を受けやすく、車体が上下に大きく振動しているからだと考える。また、図-2で示した軽自動車通過した際の橋梁上のセンサの応答は、バスの場合に比べかなり小さい。このことから、軽自動車の場合では橋梁への十分な加振になっておらず、路面凹凸などの外乱因子の影響を受けやすく「たわみ特性値」の算出には適していないのではないかと考える。

5. まとめ

本論文で得られた成果をまとめると、以下のようになる。

- 1) センサ設置位置は後輪バネ下であれば、右、左、中央どの位置でもたわみ特性値算出には影響がないことが分かった。
- 2) 速度による検討を実施した結果、通行速度が

30km/hと10km/hの場合ではかなりの差が見られた。
3) 季節での検討においては、速度の違いほどの差はなかったものの、気温の変化がたわみ特性値へ影響を与えていることが分かった。

4) 本実験から、重量の重いバス(15t)、軽自動車(1t)共にたわみ特性値を求めることができた。しかし、橋梁側の加速度センサは軽自動車の通過時に、感度良くデータを得られなかった。つまり、軽自動車など軽い車両においては、橋梁の応答を計測しているかどうかは不明である。この点に関しては今後の課題である。

参考文献

- 1) 国土交通省：日本の橋梁の現況, Accessed2013.2
http://www.mlit.go.jp/road/sisaku/yobohozen/yobo1_1.pdf
- 2) 矢部明人：路線バスを利用した既存橋梁の変状検知システムの開発に関する基礎的研究, 山口大学博士論文, pp.27-34, 2011.9