

海外におけるバスモニタリングシステムの実証実験

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

我が国では現在、高度経済成長期に建設された多くの橋梁が高齢期化を迎えている。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重要となる。本研究室では、バスの後輪バネ下に加速度センサを取り付け、橋梁を通過する際の振動情報からその橋梁の性能低下を検知するシステムの開発を進めている（以下、バスモニタリングシステム）¹⁾。これにより、**図-1**に示すような老朽化構造物の安全性能が急激に低下する加速期後期から劣化期初期²⁾への移行の検知を目指している。

2. 路線バスによる橋梁モニタリングシステム

本システムでは、路線バスの後輪バネ下に加速度センサを設置し、橋梁通過時の振動から評価指標となるたわみ特性値³⁾を算出する（**図-2**）。そして、長期的な計測によってたわみ特性値の変化を観察していくことで、橋梁の損傷を早期発見し、対策することができる。本システムのフローを**図-3**に示す。本システムは**図-3**に示すように、まず対象区間の橋梁を定期的に計測（走行）し、加速度データを収集する。次に、収集した加速度データからたわみ特性値を算出する。これを計15回行い、運行条件などの影響をなくすために15回分のたわみ特性値の平均値を求める。その結果を時系列で観察し、たわみ特性値の急激な低下または解析によって計算した判定ラインにたわみ特性値が達した時点で、早急に対策などを実施するという手順である。ここで述べているたわみ特性値とは、移動車両のバネ下鉛直変位（加速度の2回積分）の推定区間の平均値であり、橋梁と車両の振動特性と路面凹凸による動的変位に影響の少ない値として定義されている¹⁾。

3. 海外における実証実験の概要

バスモニタリングシステムの海外での適用例として、新リスボン大学（ポルトガル）と共同で実施し

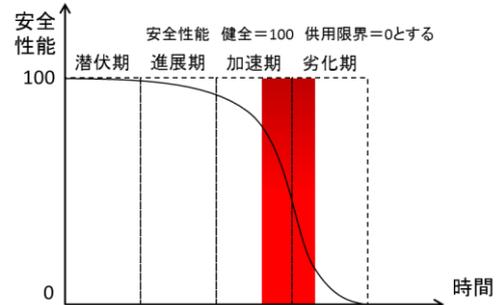


図-1 老朽化構造物の安全性能の経時変化の概念

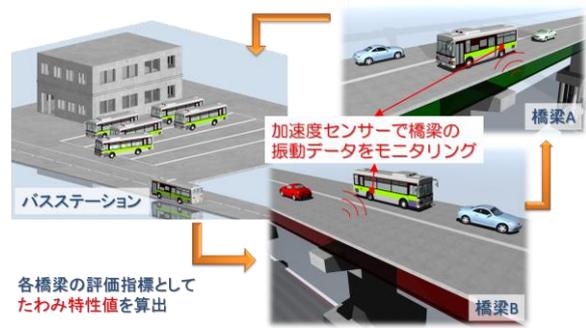


図-2 本システムの概要

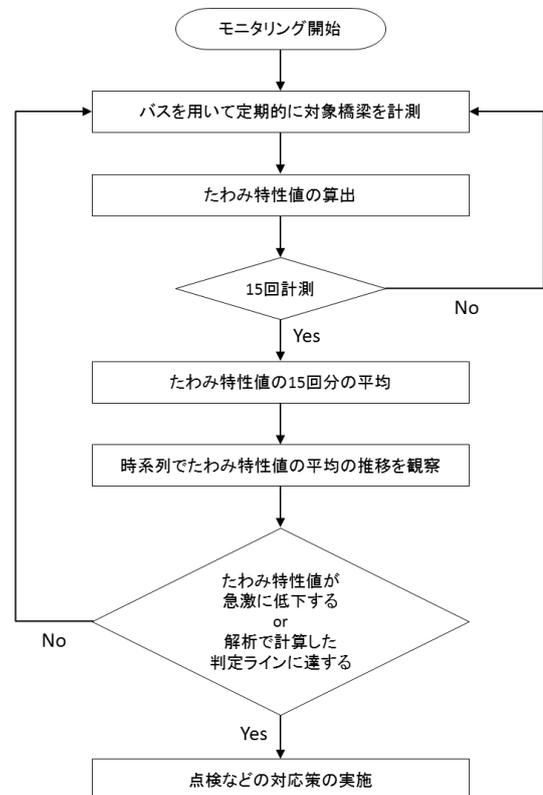


図-3 本システムの流れ



加速度センサ

図-4 使用した路線バスと加速度センサ設置位置

たリスボン市内における実証実験について述べる。

本実験は、山口大学と新リスボン大学との共同研究として、新リスボン大学の Prof. Válder J. G. Lúcio らグループの協力のもと行われた。実験で使用した路線バスの外観を図-4 に示す。実験に使用したバスは、実際にリスボン市内を運行しているバスである。総重量は約 14t であり、これまでの実験と同様³⁾に、3 軸の加速度センサは後輪バネ下部分に設置した。

対象橋梁については、新リスボン大学の近くにある 2 橋を選定し、本論文では対象橋梁名をそれぞれ FCT-in, FCT-out と呼ぶこととする。両対象橋梁の形式・寸法および外観・概要を表-1, 図-5 (a), (b) にそれぞれ示す。なお、両橋梁の中央部にはバスと橋梁の連成を確認するため、速度センサをそれぞれ設置しており、バスが橋梁を通過した際の速度データも計測した。実験はそれぞれの橋梁において、走行速度 40km/h で 15 回の計測を行った。

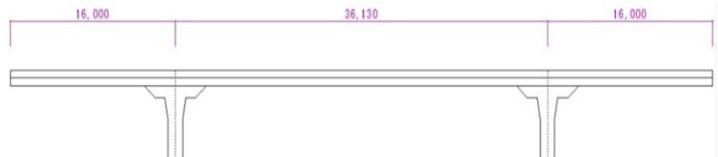
4. 実験結果

4.1 バス後輪バネ下と橋梁中央部の加速度応答

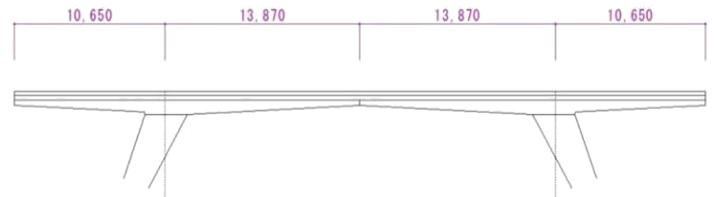
路線バスが橋梁を通過した際の後輪バネ下部と両対象橋梁桁中央部の加速度応答をそれぞれ比較したものを図-6 (a), (b) に示す。なお、バス後輪バネ下の加速度応答は 3 軸加速度センサで得られた鉛直方向の加速度データであり、橋梁中央部の加速度応答は速度センサで得られた速度データを微分して加速度データに変換したものである。図-5 (a) に示す連続版桁橋である FCT-in では、図-6 (a) に示すように橋中央通過時で路線バス後輪

表-1 対象橋梁の概要

橋梁名(仮)	上部工形式				橋長(m)	
FCT-in	径間 番号	起点側	1	3径間連続PC版桁橋	16.00	68.13
			2		36.13	
		終点側	3		16.00	
FCT-out	径間 番号	起点側	1	RCT桁張出橋	10.65	49.04
			2		13.87	
			3		13.87	
		終点側	4		10.65	

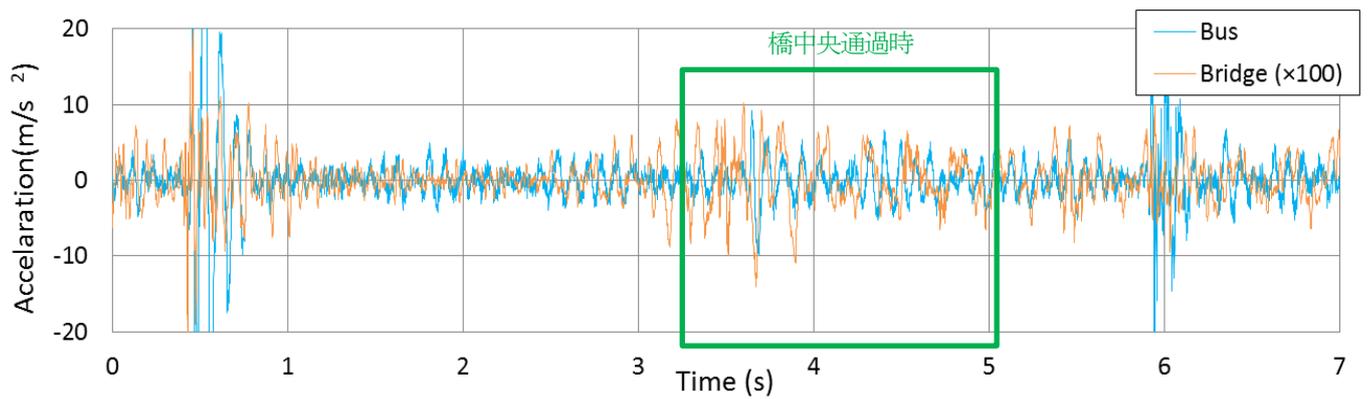


(a) FCT-in

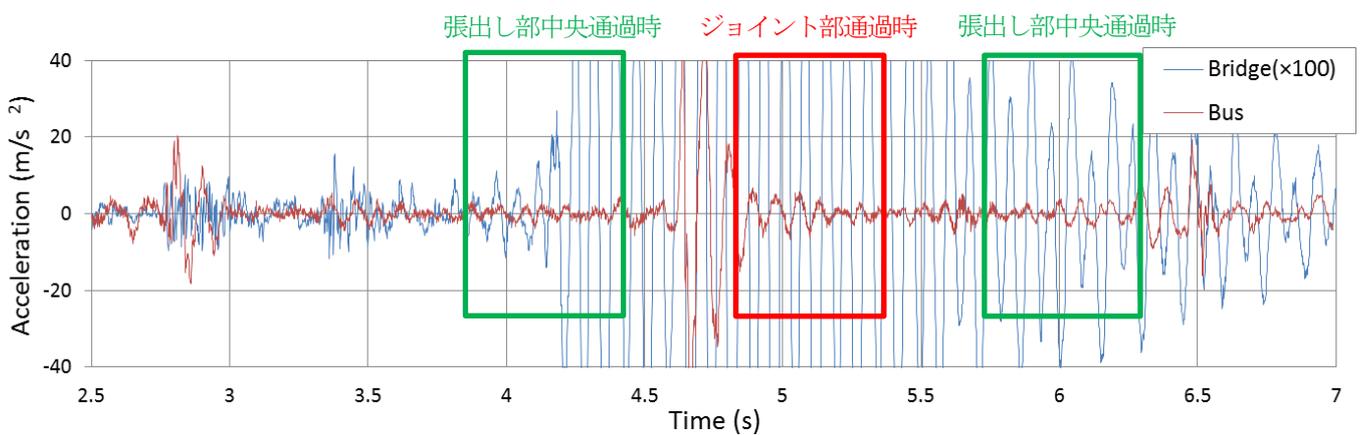


(b) FCT-out

図-5 対象橋梁の形式・寸法および外観



(a)FCT-in



(b)FCT-out

図-6 橋梁通過時の後輪バネ下および桁中央付近の加速度応答の比較

バネ下と橋梁中央部の加速度応答はおおよそ相似していることが確認できる。しかし、図-5 (b)に示す張出し桁橋である FCT-out では、図-6 (b)に示すように左側の張出し部中央通過時では後輪バネ下と橋梁側の加速度応答はおおよそ相似しているものの、橋梁中央のジョイント部通過時で橋梁側に大きな加速度応答が見られ、路線バス後輪バネ下加速度との相似性は確認できなかった。これは中央ジョイント部通過時、つまり張出部の継ぎ目を通る際に、段差を乗り越えるような形になってしまうため、バスの重量による振動が橋梁側に大きな影響を与えたためであると考えられる。このことから、本バスモニタリングシステムは、連続桁・単純桁のような橋梁形式には適用可能であるが、FCT-out のような両端からの張出し形式の橋梁には適用できないことが判明した。

4.2 たわみ特性値算出結果

ここでは、本システムが適用可能であると判断した FCT-in に関するたわみ特性値算出結果について示す。FCT-in のたわみ特性値を求めるために、まず対象橋梁版桁中央付近通過時の約 1.8 秒分のデータ (図-6 (a)中の囲んだ部分) を抜き出し、加速度を2回積分することによって、推定たわみを求めた。図-7に算出した推定たわみの例を示す。縦軸を推定たわみ、横軸を時間とし、15回分の計測で得られた推定たわみを示す。図-7を見ると、いずれも同じ区間を抜き出して積分しており、波形が類似していることが確認できる。この抜き出した区間の推定たわみを平均することでたわみ特性値を算出する。計測した15回分のたわみ特性値をまとめたものを表-2に示す。これより、たわみ特性値が中央値に収束する15回分の平均値は-4.10mm (標準偏差: 0.63) であると算出された。今後、この値を基準として計測を継続し、たわみ特性値の変化を長期に

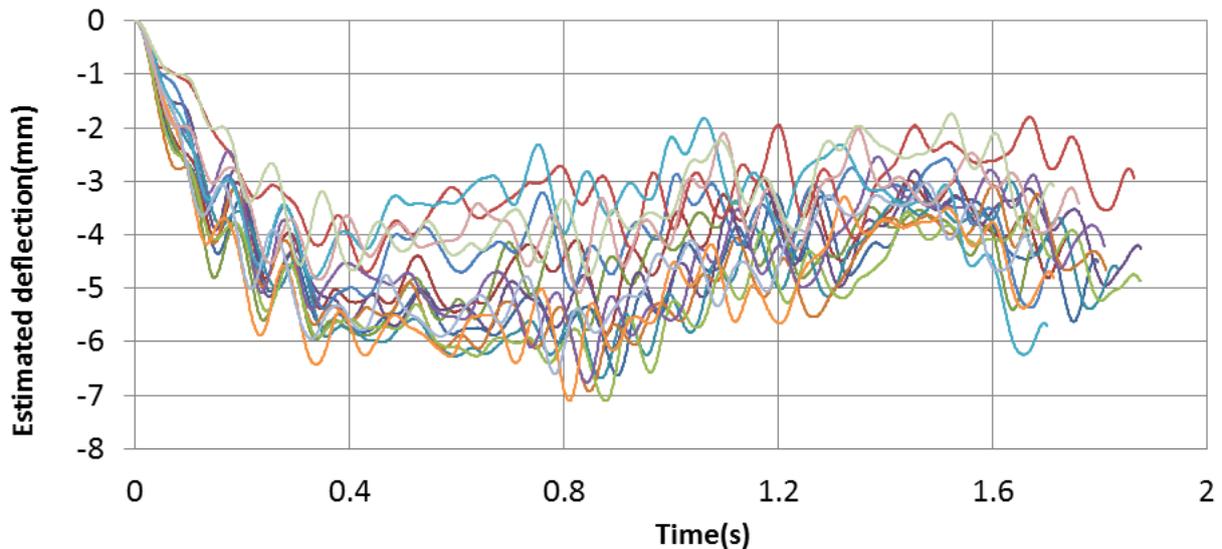


図-6 バス後輪バネ下加速度応答より求めた推定たわみ (FCT-in)

モニタリングしていくことが重要となる。

5. 海外展開における課題

上述のように、今回の実験結果より、本システムは連続桁・単純桁のような橋梁形式には適用可能であるが、FCT-outのような両端からの張出し形式の橋梁には適用できないことが判明した。そのため、さらに他形式の橋梁に関する実証試験を重ねていく必要があると考える。また、本実験では海外という日本とは環境の違う状況で実験を行ったが、計測環境や計測車両などの違いはあっても、本システムの適用は可能であることが分かった。今後は、長期挙動計測を含めて積極的に海外への適用例を増やすことが課題となる。

6. まとめ

海外でのバスモニタリングシステム適用例としてリスボン市内（ポルトガル）に架かる橋梁形式の異なる2橋梁において実証実験を行ったことで得られた主な成果を以下に示す。

- 1) 海外でのバスモニタリングシステムの適用の結果、計測環境、車両の影響を受けることなく適用可能であることが明らかとなった。
- 2) 張出し形式の橋梁など、橋梁形式によっては本システムの適用が困難なものがあるということが判明した。
- 3) 今後も様々な形式の橋梁で長期計測を行い、本システムの適用範囲を明確にする必要がある。

参考文献

- 1) 矢部明人，磯田聡史，宮本文穂：たわみ特性値を利用した既存橋梁の変状検知手法の開発-解析的検討-，土木学会第66回年次学術講演会，I-275，2011.9.
- 2) 土木学会：2007年制定「コンクリート標準示方書[維持管理編]」、2007.12.
- 3) 矢部明人，磯田聡史，永田雅大，宮本文穂：路線バスを利用した中小橋梁モニタリングシステムの実証実験，土木学会第67回年次学術講演会，pp.463-464，VI-232，2012.9.

表-2 たわみ特性値の算出結果 (FCT-in)

No.	Characteristic deflection (mm)
1	-4.51
2	-4.06
3	-4.37
4	-4.26
5	-4.65
6	-4.67
7	-3.72
8	-2.97
9	-4.87
10	-4.23
11	-3.33
12	-4.83
13	-4.44
14	-3.43
15	-3.11
AVERAGE	-4.10