

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

(株)構造計画研究所

正会員

○矢部 明人

山口大学大学院

学生会員

磯田 聡史

山口大学大学院

学生会員

永田 雅大

山口大学大学院

フェロー会員

宮本 文穂

1. はじめに

我が国は今後、膨大な数の橋梁を点検して適切に維持管理していく必要がある。「道路橋の予防保全に向けた有識者会議」は2008年5月16日、現状認識として、「見ない、見過ごし、先送り」が3大危険因子対策であり、損傷の早期発見・早期対策の予防保全システムが必要であると提言している。本研究では、路線バスを利用した振動計測による橋梁モニタリング¹⁾の実証実験を行い、実用化に向けた検証結果及び今後の課題について示した。本論文は実証実験により得られた実用化に必要な新たな知見をまとめたものである。

2. 実験概要

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、橋梁通過時のその振動からたわみ特性値¹⁾を算出する。たわみ特性値が基準値に達した場合、その橋梁に何らかの重篤な変状が生じていると判断し、早急に詳細な目視点検を行う。今回の実証実験では、運行中の路線バスにセンサを設置し、約1年間かけて合計39回計測を行った²⁾。また、運行条件のたわみ特性値への影響を調べるために、天候・対向車数・乗車人数・走行速度を記録した。

3. 実験結果

路線バスが中小橋梁を通過した際の橋梁および路線バスバネ下の時々刻々のたわみの鉛直変位 $\delta_a(t)$ は、橋梁の剛性とバスの車両重量に依存する静的変位 $\delta_{sa}(t)$ の他、路面凹凸に起因し、平均値0のランダムガウス過程という統計的性質を持つ非定常振動成分、橋梁や車両といった運動方程式に支配される振動成分、運行条件の違いやデータ抽出処理方法の違いによる外乱因子 $\delta_x(t)$ の和として式(1)のように表すことができる。

$$\delta_a(t) = \delta_{sa}(t) + S_r(\Omega, t) + \int_{-\infty}^{+\infty} X(f) \cdot e^{2\pi f t i} df + \delta_x(t) \quad (1)$$

本研究では外乱因子 $\delta_x(t)$ 特性がたわみ特性値に与える影響を考察するために、たわみ特性値と各運行条件について相関係数を用いて整理した(表-1)。その結果、各運行条件対して橋梁や径間、進行方向によって特定の傾向を持たずにばらつく傾向が表れた。そこで、外乱因子 $\delta_x(t)$ が何らかの統計的性質を有すると仮定し中心極限定理を利用してサンプル数Nを増やすことにより変状の有無の判定に影響しない程度にたわみ特性値が収束するか検討した。

表-1 たわみ特性値と各運行条件の相関

橋梁名	径間	通過方向	天候	対向車数	乗車人数	走行速度
蛇瀬橋	A	近→小	—	ほとんど相関がない	ほとんど相関がない	中程度の正の相関がある
	B		—	ほとんど相関がない	ほとんど相関がない	ほとんど相関がない
	C		—	—	ほとんど相関がない	弱い負の相関がある
	D		—	弱い負の相関がある	ほとんど相関がない	弱い正の相関がある
	E		—	—	ほとんど相関がない	ほとんど相関がない
	A	小→近	—	—	ほとんど相関がない	ほとんど相関がない
	B		ほとんど相関がない	ほとんど相関がない	ほとんど相関がない	ほとんど相関がない
	C		ほとんど相関がない	ほとんど相関がない	ほとんど相関がない	—
	D		中程度の負の相関がある	ほとんど相関がない	弱い負の相関がある	弱い負の相関がある
	E		弱い負の相関がある	ほとんど相関がない	ほとんど相関がない	弱い正の相関がある
新権代橋	—	床→西	—	弱い正の相関がある	ほとんど相関がない	ほとんど相関がない
	—	西→床	—	弱い負の相関がある	ほとんど相関がない	中程度の正の相関がある
白土第二橋	A	西→吉	—	—	弱い負の相関がある	中程度の負の相関がある
	B		—	ほとんど相関がない	中程度の正の相関がある	弱い負の相関がある
	A	吉→西	—	強い負の相関がある	弱い負の相関がある	ほとんど相関がない
	B		—	—	ほとんど相関がない	ほとんど相関がない

キーワード たわみ特性値, 構造変状検知パラメータ, 走行振動シミュレーション, 点検必要度
連絡先 〒164-0011 東京都中野区中央4丁目5番3号 (株)構造計画研究所 TEL03-5342-1138

図-1 にデータ区間を変化させて移動平均法で結果を算出し、たわみ特性値の標準偏差をまとめたものを示す。ここで、データ区間とは、移動平均をとるデータの個数である。データ区間を大きくすると、たわみ特性値のばらつきが小さくなることがわかる。さらに、ある程度のデータ区間を超えれば、それ以降、標準偏差に変化が見られなくなることがわかる。今回はデータ区間を 14 として、たわみ特性値の推移を移動平均でまとめた。

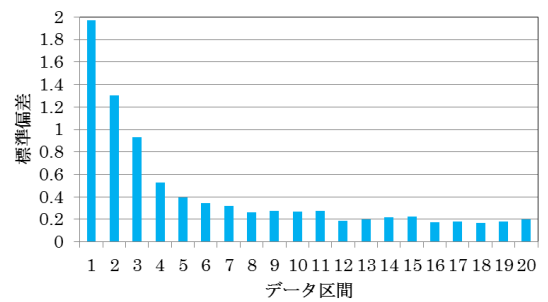


図-1 データ区間の違いによる標準偏差

本手法では、対象橋梁は現段階において、健全な状態に保たれているものとし、たわみ特性値 μ_a ¹⁾を求める。さらに、有限要素法の一つであるサブストラクチャー法を用いた走行振動シミュレーションにより、劣化状態におけるたわみ特性値 μ_a' を求める。この時の変化率 α を構造変状検知パラメータ¹⁾として算出する。本研究では、構造変状として対象橋梁が PC 橋梁であることに着目し、プレストレス力の低下を想定した

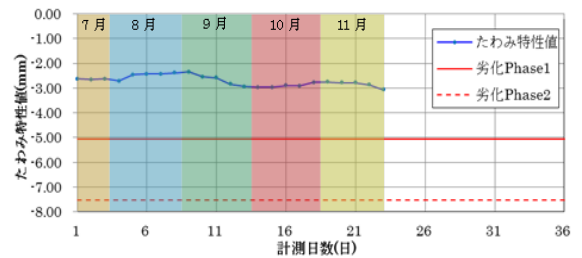


図-2 新橋代橋の劣化判定ライン（西一

3). その結果、プレストレス力が 50%低下するような損傷を生じた場合、たわみ特性値が 1.93 倍、90%低下するような損傷を生じた場合、2.86 倍に達する結果を得た。たわみ特性値の初期値を基準とし、その 1.93 倍にあたるたわみ特性値を劣化 Phase 1 の判定基準、2.86 倍にあたるたわみ特性値を劣化 Phase 2 の判定基準とした（図-2）。継続的にたわみ特性値を計測し、判定ラインに達した時に対象橋梁に何らかの重篤な変状が生じていると判断し、直ちに目視点検を行う。

また、現状で対象橋梁が判定ラインにどの程度近づいており、点検を必要とするか評価する指標として「点検必要度（式(2)）」のように算出した。たわみ特性値の平均値を基準とし、過去のたわみ特性値の最低値が劣化 Phase 1 の判定基準にどの程度近接しているかパーセントで表した。

$$\text{点検必要度}(\%) = \frac{|\text{たわみ特性値の平均値} - \text{過去のたわみ特性値の最低値}|}{|\text{たわみ特性値の平均値} - \text{判定基準}|} \times 100 \quad (2)$$

西岐波学校前から床波バス停方向へ通行する時のたわみ特性値の平均値は-2.71、最低値は-3.06 である。したがって、式(1)より、点検必要度は 14%と求められる。点検必要度が 100%に達する場合、図-2 でたわみ特性値が劣化 Phase 1 の判定ラインに達するのと同じことを意味する。この点検必要度は、橋梁点検の優先順位決定に役立つことも期待できる。

5. まとめ

本研究で得られた主な研究成果を以下に示す。

- 1) たわみ特性値と各運行条件の相関を求めた。その結果、どの運行条件についてもたわみ特性値はばらつくことが確認できた。
- 2) 運行条件の違いやデータ抽出処理方法の違いによる外乱因子 $\delta_x(t)$ に起因して、たわみ特性値はばらつきが大きくなるため、統計的性質を仮定し、ばらつきを低減する手法について検討した。その結果サンプル数 N を一定以上確保すれば変状の有無の判定に影響しない程度に収束することが確認できた。

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—, I-275, 2011.9.2.
- 2) 宇部市: 世界初の橋梁モニタリングシステム実証実験について (http://www.city.ube.yamaguchi.jp/houdou/kigyuu_koutsuu/h22/monitoring.html).
- 3) 国土交通省 国土技術政策総合研究所, 社団法人 プレストレストコンクリート建設業協会: PC 道路橋の健全度評価の高度化に関する共同研究 4 章, ISSN1346-7328, 国総研資料 第 613 号, 2010.10.