

## 振動計測による既設鋼ゲルバートラス橋の動特性把握

○長岡技術科学大学 正会員 宮下 剛  
長岡技術科学大学 学生会員 田澤雅人  
長岡技術科学大学 正会員 長井正嗣

### 1. はじめに

2007年米国ミネアポリスの橋崩落事故に見られるように社会基盤構造物の経年劣化に伴う損傷・事故が近年多発しており、維持管理の重要性が認識されている。既設構造物の維持管理における点検手法としては、主に目視・打音検査が行われている。しかし、これらの手法は経験を要する手法であり、客観的な方法とはいえない。そのため、構造物の健全性を客観的かつ合理的に評価することが可能な構造ヘルスマニタリング手法の確立が求められている。供用状態にある既設橋梁の健全性診断手法を確立するためには、まず、モニタリングから健全性を判断するための指標値が必要であり、そのためにはモニタリングから現況把握する必要がある。本研究では、指標値作成を目指し、振動計測から既設橋梁の現況動特性を把握することを目的とした。

### 2. 計測概要

既設橋梁のモニタリングでは、長岡市にある長生橋を対象とし、常時微動および車両通行時の振動を計測した。はじめに、近年のMEMS技術の進展により新たに供給されるようになった無線LAN加速度計を用いて振動計測<sup>1)</sup>を行い、長生橋の現況動特性を把握することとした。喜多町側より9径間の縦桁と下弦材を対象として計測を実施した。計測位置は支承部、ゲルバーヒンジ部、支間中央部とした。

次に、無線LAN加速度計は計測が簡便であるものの、衝撃的な力が作用したときの加速度振幅に信憑性がない片振れ波形が現れたため、高精度なサーボ型加速度計を用いて各径間中央の垂直材に取り付けて振動計測を行った。

最後に、長生橋の動特性と比較するため、長岡市にあるトラス形式の橋梁4橋（与板橋、昭和橋、小坂橋、鷲之島橋）の振動計測を実施した。

### 3. 計測結果

橋梁は老朽化とともに剛性の低下や継手部の損傷等により、一般に固有振動数の低下をもたらすことから、固有振動数の変化に着目した。8連のトラス（A1～P8）において、鉛直方向吊径間1次固有振動数は表1のように同定された。島田ら<sup>2)</sup>によって集められた統計データでは、支間65mのトラス橋の1次固有振動数は2.35Hzであることから、吊径間部においては一般的なトラス橋と同程度の結果を示し、1次固有振動数は島田の式から予測可能であることがわかった。しかし、定着径間部においては、計算値より小さい値を示した。この原因として、

定着径間部では、定着径間と複定着径間を合わせた支間100.0mとして振動しているためと考えられる。また、長生橋では縦桁下フランジにき裂（図1）や腐食が確認されているが、1次固有振動数には大きな変化が見られず、局所的な損傷は1次固有振動数には反映されにくいと言える。

縦桁支承部で無線LAN加速度計により計測された鉛直方向の時刻歴波形を図2に示す。支承部では減衰波形は現れず、片方にのみ振れている特徴的な波形（以後、片振れ）が現れた。片振れの原因は、無線LAN加速度計内のMEMSセンサが静電容量型であり、衝撃が加わった後、静電容量が一定になるまでに要する時間が長いことであることを屋内実験により確認している。片振れにおいては振幅の大きさは不明な点が残るものの衝撃が加わっていることがわかる。また、P6支承のように片振れが発生しやすい箇所があることも確認された。実際、P6支承付近には段差の大きな伸縮装置（図3）があり、P6支承では伸縮装置の段差に基づく衝撃的な力が作用していると言える。

長生橋各径間での加速度応答の最大値を比較すると、P5-P6径間が最大となった（図4）。これは、径間にある段差の大きな伸縮装置を車両が通過するときに大きな加速度が発生するためである。また、図5は計測時間内における40gal以上の加速度の発生頻度を表したものであるが、P5-P6径間には大きな加速度が繰り返し発生していることがわかる。

次に、各橋梁間での車種別の加速度分布を比較した。乗用車（1.5ton）通過時の加速度振幅には大きな違いはないが、ダンプ（満載時20ton）通過時の加速度振幅には大きな違いが確認される（図6）。段差の大きな長生橋P6伸縮装置付近では、他の橋梁には見られない加速度振幅（2000gal）を示している。同箇所の縦桁下フランジにはき裂（図1）が確認されており、き裂は2004年10月に発生した中越地震により発生したものかとは定かではないが、伸縮装置の段差および観測された2000gal以上の加速度には大きな相関があるものと推察される。また、小坂橋には伸縮装置付近にポットホールがあり、局所的に大きな段差が存在するために、大型車通過時に1000galを超える加速度が計測された。

### 4. まとめ

本研究では、既設橋梁の構造ヘルスマニタリングのための指標値作成を目指し、長岡市にある橋梁群を対象として、まず、動特性を把握することとした。具体的には、

計測が容易な加速度による振動計測モニタリングを実施した。得られた知見をまとめると以下ようになる。

- 1) 構造ヘルスマニタリングの分野において指標値とされやすい固有振動数に関しては、各橋梁における計測結果から、鉛直方向の1次固有振動数が島田の式から予測可能であること、鉛直方向の1次固有振動数は算出が容易であるものの局所的な損傷や腐食の影響が反映されにくいことが確認された。局所的な影響を評価するためには、高次の固有振動数・振動モード形の利用が考えられ、そのためには空間的に高密度なモニタリングが必要である。
- 2) 各橋梁スパン中央の垂直材で計測された鉛直方向の最大加速度を比較すると、長生橋の吊径間部にて、応答が約2～13倍大きくなっていることがわかった。また、車両重量が大きなダンプカーの通過による影響が顕著であり、乗用車通過時と比較すると応答が約3～13倍となっている。
- 3) 長生橋の支承部には、伸縮装置の段差を車両が通過することに伴い、衝撃的な力が繰り返し作用している。実際、長生橋 P6伸縮装置付近では2000gal以上の加速度が計測された。同箇所の縦桁下フランジではき裂の発生が確認されており、加速度と大きな相関があるものと推察される。設計時に想定された以上の衝撃荷重が作用していることになるため、耐久性への影響が懸念される。
- 4) 本研究では、計測が容易な加速度応答から既設橋梁の健全性診断のための指標値作成を試みた。現時点では、計測されたデータから、直接、構造物の健全性を診断する段階までは至っていない。しかし、既設道路橋の加速度応答には、設計時には想定していない路面の段差による影響が大きく反映されることが確認できた。そのため、

大きな加速度が検出された部位を継続的にモニタリングすることにより、構造物の変状を早期に検知できることが期待される。

- 5) 健全性診断に向けた今後の課題としては、構造物の状態評価に直接結びつく応力が指標値として加速度よりも有効と思われる。しかし、応力の計測は容易ではない。そのため、解析モデルを作成し、計測が容易な加速度応答を利用してモデルをアップデートさせて応力状態を評価することや、加速度と応力の同時計測により相関を把握することが必要になると考える。

#### 参考文献：

- 1) 宮下剛，久保田慶太，藤野陽三，宮本則幸，梅本秀二：二台の無線 LAN 加速度計による橋梁の振動モード同定，第61回土木学会年次学術講演会（CD-ROM），2006.9.
- 2) 加藤雅史，島田静雄：橋梁実測振動特性の統計解析，土木学会論文報告集，No.311，pp.49～58，1981.7.

表1 鉛直方向1次固有振動数

|         | 計測値(Hz) | 計算値 (Hz) |
|---------|---------|----------|
| A1-P1   | 1.9     | 2.29     |
| P1-P2   | 1.7     | 2.37     |
| P2-P3   | 1.7     | 2.37     |
| P3-P4   | 1.9     | 2.37     |
| P4-P5   | 1.8     | 2.37     |
| P5-P6   | 1.7     | 2.37     |
| P6-P7   | 1.9     | 2.37     |
| P7-P8   | 1.8     | 2.37     |
| P8-P9   | 1.8     | 2.37     |
| P9-P10  | 1.9     | 2.37     |
| P10-P11 | 1.7     | 2.37     |
| P11-P12 | 1.8     | 2.37     |
| P12-A2  | 1.9     | 2.29     |



図1 P6 縦桁下フランジ変状の様子

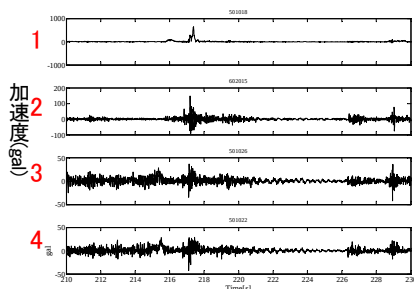


図2 計測結果例(P7 支承鉛直方向)



図3 P6 支承付近伸縮装置段差

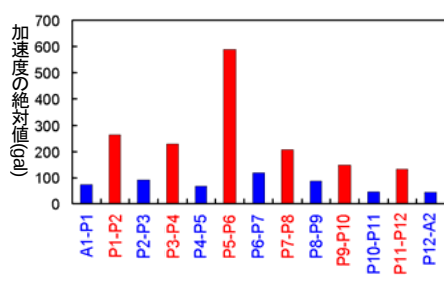


図4 長生橋各径間の加速度絶対値の比較

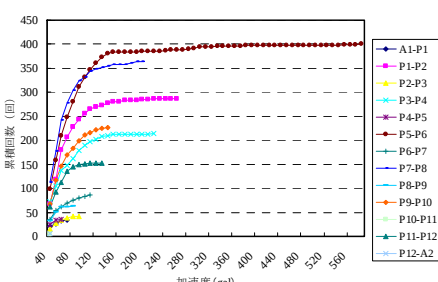


図5 40gal以上の加速度振幅の発生頻度

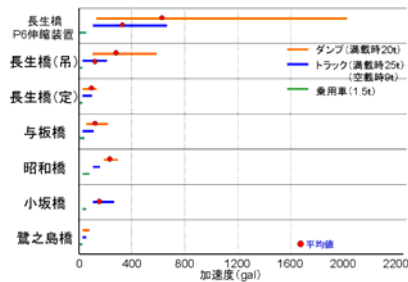


図6 車両別の加速度分布の比較