

## 橋梁桁端部のたわみ角に着目したヘルスマモニタリングの基礎的検討

山梨大学大学院 正会員 ○竹谷 晃一  
山梨大学 学生 小野 拓朗

## 1. はじめに

橋梁の戦略的な維持管理が求められている今日、その実現には橋梁の状態を定量的かつ効率的に把握する方法の確立が不可欠である。その方法のひとつとして振動センサを用いて橋梁上部構造物の構造応答を長期的に計測・分析する橋梁ヘルスマモニタリング（以下、BHM）がある。振動センサの中でも加速度センサは比較的安価かつ小型で扱いが容易なため数多くの橋梁に導入しやすいという利点がある。しかしながら、BHMで主に用いられる振動やたわみ量といった情報はその感度が大きい桁中央部で計測することが必要であるが、物理的に桁中央部に振動センサを設置することが困難な橋梁も多い。

一方、橋梁支承部付近はアクセスが比較的容易であるが、鉛直方向の振動は小さいため積極的には橋梁桁部のBHMに用いられてこなかった。しかし、桁端部の動的挙動に着目すると、車両走行などの活荷重による桁部の鉛直たわみや卓越振動モードに応じて桁端部ではたわみ角が生じていると考えられる。そこで本研究では、桁中央部の鉛直たわみや橋梁桁部のモード減衰比などの橋梁の動的特性を、橋梁支承部に生じるたわみ角から分析する方法を検討し、模型実験及び実橋梁での計測データを用いて分析を行った。

## 2. 桁端部のたわみ角と桁中央の鉛直たわみの関係

## (a) 簡略モデルを用いた定式化

単純桁の場合の橋梁桁端部の模式図を図-1に示す。車両通行などによって橋梁に鉛直たわみが生じるとき、桁端部では支承の支点を中心とした回転挙動を示すと考えられる。このとき、支点を原点(0,0)とした場合、高さH、水平方向Lに設置した動的挙動の計測点の $t=0$  [sec]における位置は(L,H)と表せる。支点を中心にしたたわみ角 $\theta(t)$ が生じたとき、計測点の水平方向変位 $y(t)$ を用いて次式のように表せる。

$$\theta(t) = \sin^{-1} \left( \frac{y(t)+L}{\sqrt{H^2+L^2}} \right) - \sin^{-1} \left( \frac{L}{\sqrt{H^2+L^2}} \right) \quad (1)$$

桁端部の動的挙動の計測方法として① 加速度センサ、② 変位計を考え、それぞれの方法を表-1に簡潔にまとめた。本研究では、桁中央部の鉛直たわみが変位計(LK-500, KEYENCE製)で直接計測できる模型橋梁で桁端部のたわみ角と桁中央部の鉛直たわみの関係の評価を行なった。その上で、実橋梁における動的挙動をMEMS式加速度計(M-A351, EPSON製)で計測し、振動モードやモード減衰比の評価を行った。

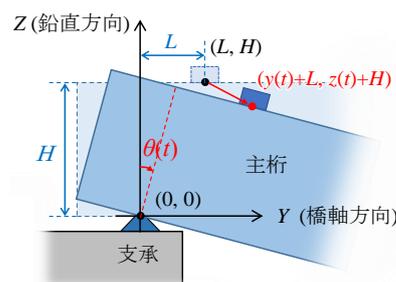


図-1 桁端部の模式図

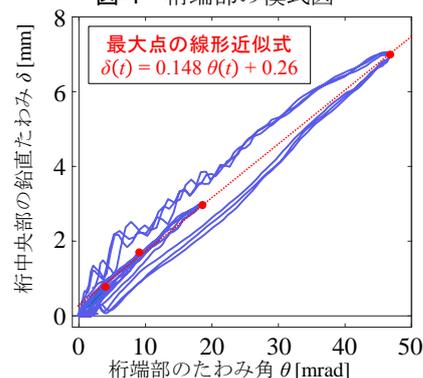


図-2 桁端部のたわみ角と桁中央の鉛直たわみの関係

表-1 桁端部の動的挙動の計測方法の比較

		メリット	デメリット
① 加速度センサ	MEMS式	小型で消費電力が小さく設置が容易。	低周波域の精度が低い。
	サーボ式	精度が高く積分処理でも誤差が小さい。	電源の確保が必要。比較的高価。
② 変位計	接触式	橋台・橋脚が不動点とみなせる場合、	設置が複雑。電源の確保が必要。
	非接触式	直接変位が計測できるため高精度。	電源の確保が必要。比較的高価。

キーワード 橋梁振動, たわみ角, 桁端部, 減衰比, RD法

連絡先 〒400-8511 山梨県甲府市武田 4-3-11 山梨大学工学部 TEL: 055-220-8519 E-mail: ktakeya@yamanashi.ac.jp

(b) 模型実験による検証

橋梁模型のスパン長は 700 mm, 主桁は長方形断面( $h = 4 \text{ mm}$ ,  $w = 50 \text{ mm}$ , 材質: ポリカーボネート)であり, 鉄球を通過させるための 2 本のレール(一辺 5 mm の直角三角形, 材質: ABS)が主桁に固定されている. 28g, 64g, 110g, 260g の鉄球を通過させた時の桁端部の水平変位をレーザー変位計で計測し, 式(1)を用いてたわみ角に変換した. 算出したたわみ角 $\theta(t)$ と桁中央部の鉛直たわみ $\delta(t)$ の関係を図-2 に示す. 移動荷重の条件下では桁端部のたわみ角と桁中央部の鉛直方向変位は図-2 の青線で示す軌跡を描くため 1 対 1 の関係とはならないが, 各値が最大となる点(図-2 の赤点)に着目し, 最小二乗法によって直線近似すると以下の関係式が得られた.

$$\delta(t) = 14.8\theta(t) + 0.26 \quad [\text{mm}] \quad (2)$$

以上より, 桁端部のたわみ角を観測することで, 桁中央部の鉛直たわみが簡略的に把握することができると考えられる. 実用的には, 今後実橋梁での計測・分析を進めていくことで, 橋梁の桁端部の最大たわみ角を計測することで橋梁上部構造物の健全度を長期的に評価するなどの活用が期待できる.

3. 実橋梁の動的挙動の分析と減衰比の算出

対象橋梁の模式図と設置した 3 軸 MEMS 加速度センサの位置を図-3 に示す. 対象橋梁は神奈川県的一般道路にある二径間連続箱桁橋であり, 片側 1 車線ずつ, 交通量は毎時 300~600 台である. 桁端部に設置した 4 つの加速度センサ(N-1, N-9, S-1, S-9)の支点からの位置は  $L = 0 \text{ mm}$ ,  $H = 600 \text{ mm}$  とした. はじめに桁全体の動的挙動を把握するため, N-3 の鉛直方向加速度を基準として各センサとの伝達関数を算出し, 対象振動数におけるゲインと位相から 3 次元のモード形状を得た. 鉛直 1 次振動モード(3.75Hz)のモード形状を図-4 に示す.

つぎに, 振動モード毎の減衰比の分析を RD 法によって行った. バンドパスフィルタで対象振動モードの加速度波形を取り出し, 1800 秒間のデータを時間窓 5 秒(オーバーラップ 80%)で区切った波形の重ね合わせから自由減衰波形を抽出して減衰比を推定した. 桁端部(N-1, N-9)の角加速度[deg/s<sup>2</sup>]と桁中央(N-3, N-7)の鉛直加速度[gal]から算出した減衰比を表-2 に示す.

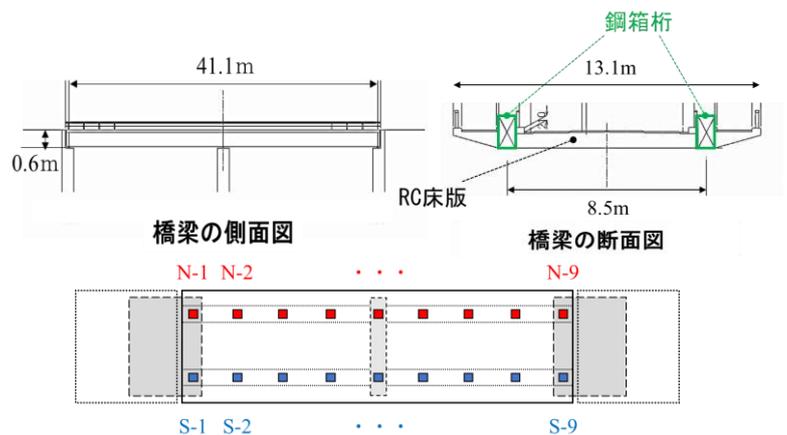


図-3 対象橋梁の模式図と加速度センサの設置位置

4. まとめ

橋梁桁端部のたわみ角と桁中央の鉛直たわみの関係を模型実験から示し, 最大値に着目した BHM の可能性を示した. その上で, 実橋梁での振動測定より, 桁端部に設置した加速度センサの振動データから角加速度を算出し, RD 法を用いて鉛直振動モードの減衰比を推定できることを示した. 今後, 実橋梁の桁端部のデータ分析を進めていくことで, より高次の振動モードの減衰比や桁中央部の最大たわみの推定などを行っていく.

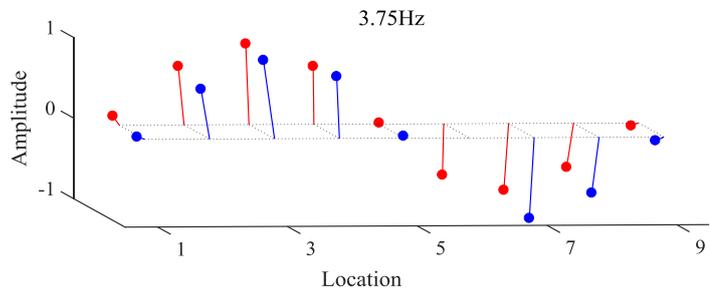


図-4 対象橋梁の鉛直 1 次振動モード(3.75Hz)の 3 次元形状

表-2 減衰比の算出結果の比較

分析データ	鉛直 1 次振動モード (3.75Hz)の減衰比 $h$
桁中央 (N-3, N-7)の鉛直加速度	$h_z = 0.0116$ (平均値)
桁端部 (N-1, N-9)のたわみ角加速度	$h_\theta = 0.0113$ (平均値)
相対精度 $(1 -  h_\theta - h_z /h_z) \times 100$ [%]	97.8 %