橋梁桁端部の動的挙動に着目した構造動特性の分析法

山梨大学 学生会員 〇太田 小春, 非会員 小野 拓朗 山梨大学大学院 正会員 竹谷 晃一, 東京工業大学 正会員 佐々木 栄一

1. はじめに

高度経済成長期に建てられた多くの橋梁が更新の 時期を迎えていることは周知の事実であり、既設橋梁 を戦略的に維持管理していくことが求められている. 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.

橋梁の健全度を定量的に評価するための技術の一 つとして、加速度センサ等を用いた橋梁ヘルスモニタ リング (BHM) が挙げられる^[1]. 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BHMで主に利 用する固有振動数や減衰,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とな 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,アクセスが比較的容易な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 振動に応じて桁端部では傾斜角が生じていると考え られる. そこで本研究では, 橋梁桁部の固有振動数や モード減衰比などの動的特性を,橋梁桁端部に生じる 傾斜角から分析する方法を実橋梁での計測を用いて 検討した.

2. 桁端部の動的特性と傾斜角

BHMでは加速度センサを利用することが多いため, ここでは桁端部付近の橋軸方向加速度から傾斜角加 速度を算出する方法を示す. 図-1はたわみが発生した ときの桁端部付近の挙動を示す模式図である.支点を 原点(0,0)とした場合,高さH[mm],水平方向L[mm]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. 支点を中心にたわみ角 $\theta(t)$ [rad]が生じ たとき,計測点の橋軸方向変位y(t) [mm]を用いて式(1) のように表せる.

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

キーワード 橋梁振動, 傾斜角, 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

対象橋梁は2径間連続鋼箱桁形式であり、片側1車線 の対面交通、交通量は毎時300~600台である.対象橋梁 の概略図と3軸MEMS加速度センサの設置位置を図-2 に示す. 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=0mm, H=800mmと した.大型車が単独で通過したときのS-9地点での加速 度から式(1)を用いて算出した傾斜角加速度とそれを 積分した傾斜角速度を図-3に示す.近年のMEMS式ジ ャイロセンサの分解能は数mdeg/secであることから, ジャイロセンサで直接傾斜角を計測できる可能性が ある.

(a) 固有振動数

対象橋梁の固有周期を調べるため,加速度のパワー スペクトル密度(PSD)を図-4に示す. 図-4(a)は加速度 センサS-3, S-7, N-3, N-7の鉛直(X)方向加速度から算 出したPSDである.この図から3.8Hz, 5.0Hz, 5.6Hz,



6.8Hzにピークがあり対象橋梁の卓越周波数と考え られる.一方,図-4(b)は桁端部に設置した加速度セン サ(N-1, N-9, S-1, S-9)の橋軸(Y)方向加速度から算 出したPSDである.図-4(a)と比較すると支間中央部 の鉛直方向加速度から算出した固有振動数と一致す る.

(b) モード形状

対象橋梁の振動モード形状を調べるため,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モー ド形状を得た.鉛直1次振動モード(3.8Hz)と鉛直2次 振動モード(6.8Hz)のモード形状を図-5に示す.

(c) モード減衰比

つぎに、振動モード毎の減衰比の分析をRD法とハ ーフパワー法によって行う.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た.(3.8Hzに 0.85~4.3Hz, 5.0Hz に 4.84~5.04Hz, 5.6Hz に 5.06~6.38Hz, 6.8Hzに6.38~6.94Hz).加速度のパワース ペクトル密度を算出する際、本研究では窓関数とし てハン窓を用い、分析データ長さを200000として、 窓長500、オーバーラップ率90%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.表-1に両手法の結果を示す.

4. まとめ

橋梁桁端部の動的挙動に着目して構造特性を把握 する手法を検討した結果,以下の知見が得られた.

- 桁端部の3軸加速度とセンサの設置位置から傾 斜角の算出方法を示し、実橋梁に適用する際の センサの設置位置の検討を行った。
- 2) 実橋梁での計測を行い、桁端部に設置した加速 度センサの振動データから傾斜角加速度を算出 した.加えて、固有振動数の把握や、ハーフパワ 一法とRD法を用いた減衰比の同定を試みた.

減衰比の推定では固有振動数が高くなるにつれて 精度低下があったため,手法の検討をさらに進めて 行く.また,ジャイロセンサを用いて直接傾斜角を計 測する方法についても検討を行っていく.

5. 謝辞

本研究は鋼橋技術研究会「センシング技術を用いた 構造評価に関する研究部会」(部会長:東京大学長山智 則准教授)における検討の成果を一部活用させて頂い ております.ここに記して謝意を表します.



表-1 減衰比の分析結果の比較

	ハーフパワー法							
	桁端部(橋軸(Y)方向加速度)				桁中央部(鉛直(Z)方向加速度)			
センサ	N-1	N-9	S-1	S-9	N-3	N-7	S-3	S-7
鉛直1次 (3.8Hz)	1.41%	1.44%	1.43%	1.48%	1.36%	1.41%	1.37%	1.42%
鉛直2次 (6.74Hz)	1.19%	1.21%	1.08%	1.07%	0.89%	0.98%	1.10%	1.00%
	RD法							
	桁端部(橋軸(Y)方向加速度)				桁中央部(鉛直(Z)方向加速度)			
センサ	N-1	N-9	S-1	S-9	N-3	N-7	S-3	S-7
鉛直1次 (3.8Hz)	1.12%	1.14%	1.17%	1.14%	1.15%	1.16%	1.14%	1.14%
鉛直2次 (6.74Hz)	1.75%	1.65%	1.70%	1.65%	1.40%	1.70%	1.38%	1.39%

【参考文献】

- 野崎正典,柳原健太郎,福井潔:無線加速度センサーを用いた橋 梁モニタリングシステムの実証実験,OKIテクニカルレビュー No.1,2017年5月.
- [2] 竹谷晃一,佐々木栄一,岩吹啓史,長船寿一,洞宏一,名児耶武: 橋梁振動を対象とした同調質量系発電デバイスの開発と実橋梁
 への適用,土木学会論文集A1, Vol.72, No.2, pp.290-301, 2016.