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へルスモニタリング (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)

3. 実橋梁の振動特性の分析

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=0 mm, H=800 mm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,

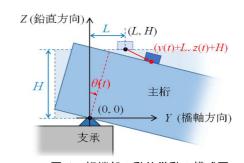


図-1 桁端部の動的挙動の模式図

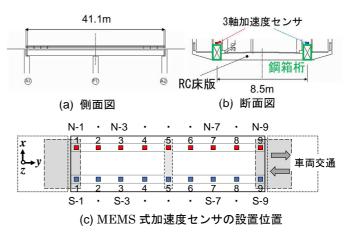


図-2 対象橋梁の概略図とセンサの設置位置

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

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

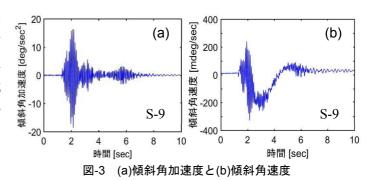
橋梁桁端部の動的挙動に着目して構造特性を把握する手法を検討した結果,以下の知見が得られた.

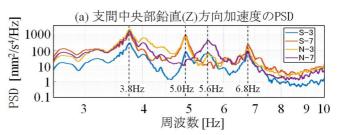
- 1) 桁端部の3軸加速度とセンサの設置位置から傾斜角の算出方法を示し、実橋梁に適用する際のセンサの設置位置の検討を行った。
- 2) 実橋梁での計測を行い、桁端部に設置した加速 度センサの振動データから傾斜角加速度を算出 した.加えて、固有振動数の把握や、ハーフパワ 一法とRD法を用いた減衰比の同定を試みた.

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.





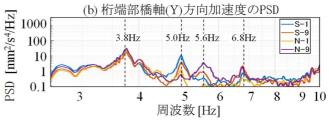


図-4 パワースペクトル密度の比較

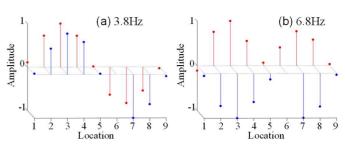


図-5 鉛直振動モード形状

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】

- [1] 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.