

常時計測可能な健全度診断指標を用いた状態監視手法の実橋梁での検討

(公財) 鉄道総合技術研究所
東京地下鉄株式会社

正会員 ○名取 努, 阿部慶太, 小湊祐輝
非会員 関口琢己, 正会員 諸橋由治

1. はじめに 河川内にある鉄道橋梁橋脚では河床低下等による基礎の安定性に関する健全度の低下が生じる。現状、衝撃振動試験法により得られる橋軸直角方向の固有振動数でこの健全度を診断しているが、検査の省力化の観点から常時設置したセンサによる状態監視が望まれる。これを受けた既往の研究で、実際の鉄道鋼製橋梁において、図-1 に示す橋軸直角方向の常時微動のパワースペクトルにおけるある振動数域 ($f_0 \sim f_2$ まで) の面積とある振動数域のうち低振動数域 ($f_0 \sim f_1$ まで) の面積の比と定義したパワースペクトル面積比 β と、列車通過時の橋軸直角方向と橋軸方向の最大応答加速度振幅の比である列車通過時加速度振幅比 R_{AA} が図-2 に示すように固有振動数と相関を有し、状態監視手法の健全度診断指標として有効であることが示されている^{1),2)}。本研究では、これらの健全度診断指標による状態監視手法の構築に向け、鉄道橋梁の橋脚に常時設置した加速度計で長期計測し、計測結果による健全度評価手法について検討した。

2. 実橋梁での状態監視 図-3 に本件で対象とした橋梁の側面図を示す。対象橋梁は河川を跨ぐ鉄道鋼製橋梁(形式: 下路トラス橋, 上部工: 鋼製桁, 下部工: 鉄筋コンクリート橋脚, 支承種別: ローラー支承, 線路: 複線)で、17 橋脚からなり、内 9 橋脚が河川内に位置しており、既往の研究^{1),2)}で計測したものと同一である。これらの橋脚の天端に加速度計を常設し長期計測を実施した。加速度計は、状態監視への適用を考慮し、加速度検出部に MEMS

センサを用いた安価で省電力なもので、電池交換なしで 2 年間計測可能なものを用いた。計測データは加速度計に付属のメモリーカードに書き込み取得した。 β は閾値 f_0, f_1, f_2 を図-2 の関係から、それぞれ 1Hz, 4Hz, 20Hz とし、午前 2 時から午前 4 時の間に 30 分間隔で 5 回、各 16 秒間計測し、その平均値を記録した。 R_{AA} は午前 6 時から午前 6 時半の 30 分間で 3 回、各 20 秒間計測し、その最大値を記録した。

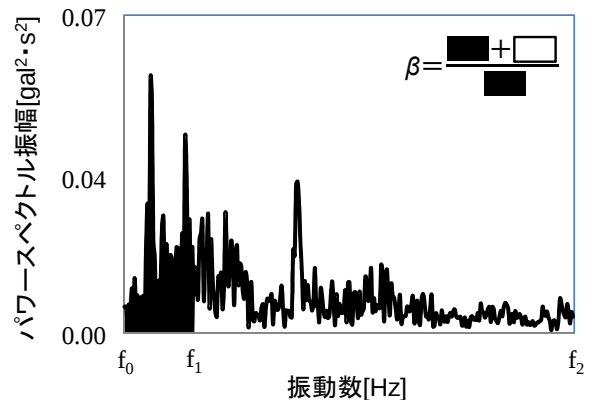


図-1 パワースペクトル面積比 β の定義

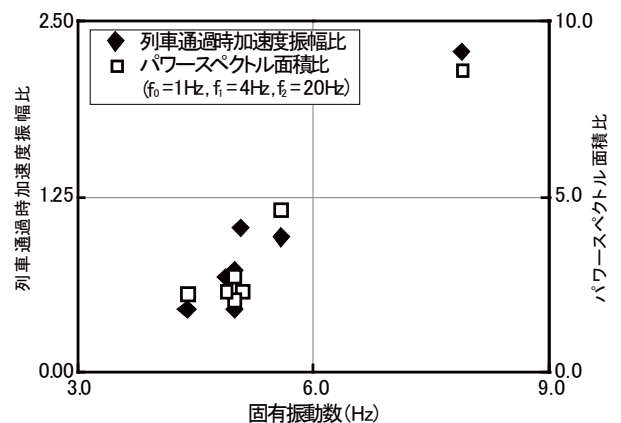


図-2 実測結果

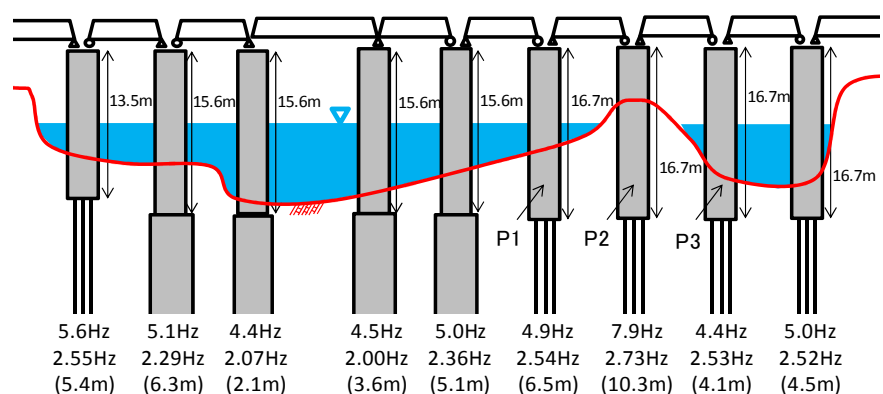


図-3 橋梁側面図(橋脚下の数字は、上から、衝撃振動試験から得られた固有振動数, 標準値, フーチング下面またはケーソン上面からの土被り厚)

キーワード 常時微動, 列車振動, 河川橋梁, 状態監視

連絡先 〒185-8540 東京都国分寺市光町 2-8-38 鉄道総合技術研究所(基礎・土構造) TEL 042-573-7261

3. 計測結果 前述の橋梁において2013/11～2014/12の約1年間計測を行った。基礎形式が同様で、橋脚躯体の形状が類似し、かつ土被り厚が異なる P1, P2, P3 橋脚の長期計測結果を5点平均したものを図-4に示す。長期計測データには、気温の変動や渇水期、出水期の流水力の変動、センサの個体差が要因と考えられるばらつきが避けられない。しかし、常時微動の卓越振動数の変動係数は0.30～0.39であるのに対し、健全度診断指標 β , R_{AA} の変動係数は0.12～0.18であり、ばらつきが小さい上、図-4に示すように、固有振動数の違い($P2 > P1 \approx P3$)をより定量的に表現しており、橋脚の健全度診断指標として有効であることが分かった。

また、計測結果の内、全橋脚でデータが得られている2013/11/8～2014/6/18の約7カ月間のデータを用いて各橋脚の管理値を設定し、実橋梁への適用性を検討した。健全度診断指標のばらつきを考慮して、当該期間の健全度診断指標の平均値から標準偏差の2倍または3倍を引いた値を健全度診断指標の下限值とし、その値と固有振動数との関係を調べた。図-5に各橋脚(8～9橋脚)の固有振動数と健全度診断指標の関係を示す。実線は両指標と固有振動数の関係を表す回帰直線である。表-1に示す健全度判定区分³⁾の判定ランクAとBの境である $\kappa=0.85$ を健全度低下の目安とし、各橋脚の標準値に0.85を乗じた値に対応する健全度診断指標を回帰直線より求め、管理値に設定した。図-5にP3の場合を例として示す。図-4に橋脚の管理値を点線で示す。このように衝撃振動試験の標準値を基に管理値を設定することで、従来の健全度判定の考えを活用しつつ、橋脚の健全度を常時把握ができる。今回の場合、図-4に示すように設定した管理値に対し、健全度診断指標 β , R_{AA} が常に大きいことが確認でき、計測期間中、橋脚の健全度に問題が生じていないことが確認できた。

4. まとめ 鉄道鋼製橋梁でMEMS加速度計による長期計測を実施し、状態監視の健全度診断指標として β , R_{AA} が有用であることが確認できた。また、本指標と実測固有振動数の関係より、標準値に基づいた管理値の設定を行い、橋脚の健全度を常時把握できる状態監視手法を提案した。

参考文献 1) 雪岡剛哲, 阿部慶太, 神田政幸, 関口琢己, 諸橋由治: 常時微動のパワースペクトル面積を用いた鉄道橋梁橋脚の状態監視手法, 鉄道工学シンポジウム論文集, 第18号, pp.199-204, 2014

2) 阿部慶太, 神田政幸, 羽田明生, 岩澤永照, 関口琢己, 諸橋由治, 王林: 列車通過時加速度振幅比を用いた鉄道橋梁橋脚の状態監視手法, 鉄道工学シンポジウム論文集, 第18号, pp.205-212, 2014

3) 公益財団法人鉄道総合技術研究所編: 鉄道構造物等維持管理標準・同解説—基礎構造物・抗土圧構造物, 2007

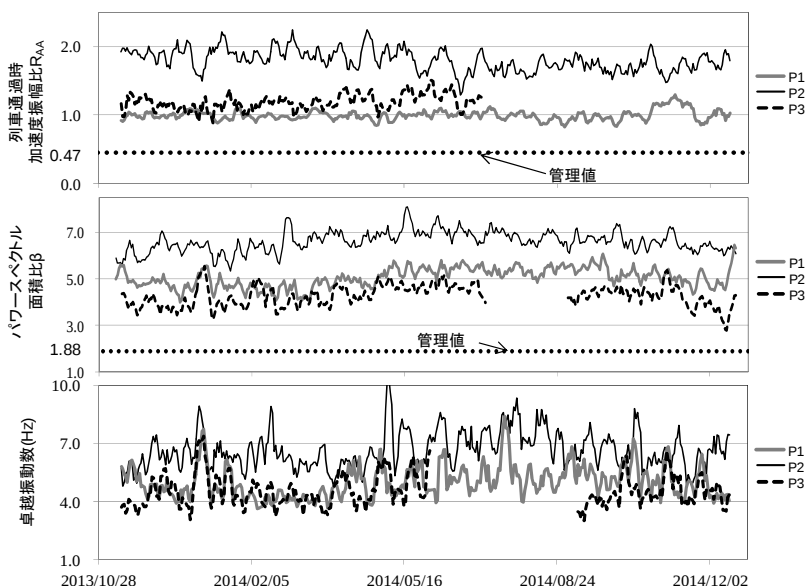


図-4 長期計測結果

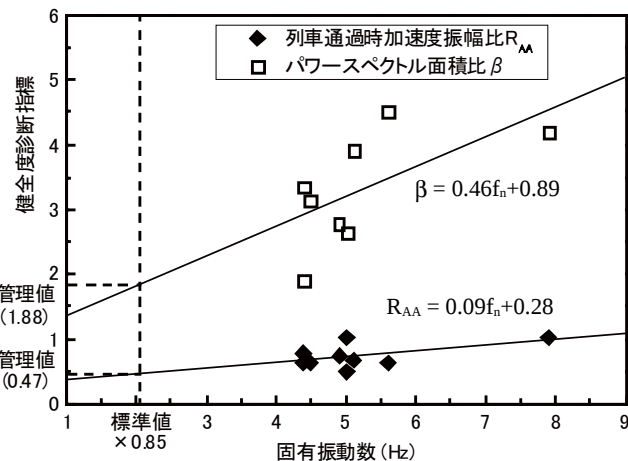


図-5 健全度診断指標の下限值と固有振動数の関係

表-1 健全度判定区分

健全度指標値 κ	判定ランク	処 置
$\kappa \leq 0.70$	A 1	異常時外力に対して危険な変状がある。他の調査結果を参照し、補修、補強を考慮する。
	A 2	固有振動数の低下など進行性の把握を行う。
$0.70 < \kappa \leq 0.85$	B	現状では問題は少ない。
$0.85 < \kappa \leq 1.00$	S	現状では健全と考えられる。
$1.00 < \kappa$		

健全度指標値 κ = 実測固有振動数 / (初期値あるいは標準値)

今回の場合、図-4に示すように設定した管理値に対し、健全度診断指標 β , R_{AA} が常に大きいことが確認でき、計測期間中、橋脚の健全度に問題が生じていないことが確認できた。