

常時計測可能な指標を用いた単線河川橋梁橋脚の健全度診断手法

(公財) 鉄道総合技術研究所 正会員 ○谷 賢俊

// 国際会員 阿部慶太

// 正会員 獅子目修一、名取 努

東武鉄道株式会社 非会員 山野明義

1. はじめに 鉄道橋梁の橋脚は、洗掘や地震による基礎の安定性低下等、目視のみで確認することが困難な変状が発生するため、常時計測により健全度を評価する方法が望まれている。これを受けた既往の研究において、常時微動のパワースペクトル面積比と列車通過時加速度振幅比が固有振動数と相関を有し、橋脚の安定性に関する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⁾。本報では、既往の研究で対象とした複線・ローラー支承の橋梁とは形式の異なる橋梁を対象とし、健全度診断指標の有効性について検証を行ったので、その結果を報告する。

2. 対象橋梁の概要 図-1に対象橋梁の側面図を示す。8径間からなる上路プレートガーダー形式の単線橋梁で、支承種別は線支承、下部工は直接基礎に支持される無筋壁式橋脚(P1～P3はシートパイル締切工を実施済)である。また、衝撃振動試験によって得られた各橋脚の固有振動数と、橋脚諸元から算出した固有振動数の標準値³⁾の関係を図-2に示す。表-1に示す、固有振動数を用いた健全度指標値 κ による健全度判定区分³⁾より、当該橋梁は現状では健全と考えられる。本研究では、上記の健全度診断指標の有効性を検証するため、橋脚天端に設置した圧電型加速度計で常時微動および列車通過時の応答加速度を計測し、その結果から求めた指標と固有振動数との関係を調べた。図-3に加速度計の設置状況を示す。

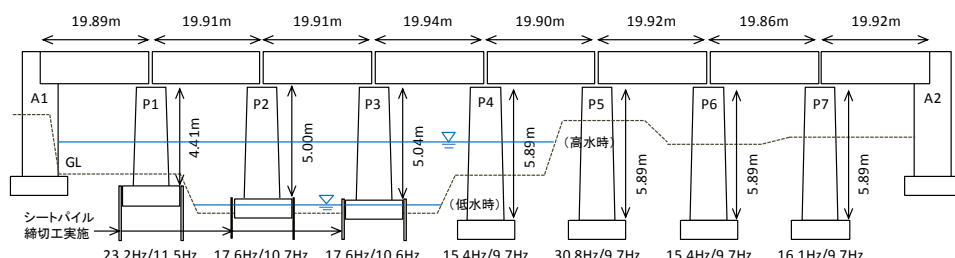


図-1 橋梁側面図 (橋脚下の数字 (Hz) は、固有振動数の実測値/標準値)



図-3 加速度計設置状況

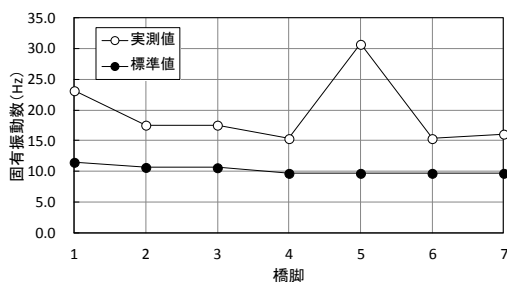


図-2 各橋脚の固有振動数の実測値および標準値

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	(A1) 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。
$0.70 < \kappa \leq 0.85$		(A2) 固有振動数の低下など進行性の把握を行う。
$0.85 < \kappa \leq 1.00$	B	現状では問題は少ない。
$1.00 < \kappa$	S	現状では健全と考えられる。

※健全度指標値 κ = 実測固有振動数 / (初期値あるいは標準値)

3. パワースペクトル面積比 パワースペクトル面積比とは、橋軸直角方向のスペクトル振幅を2乗したものをパワースペクトルと定義した際の、ある振動数域のパワースペクトル面積とそのうちの低振動数域のパワースペクトル面積の比である。パワースペクトル面積比のイメージを図-4に、計算式を式-1に示す。ここで、 f_0 、 f_1 、 f_2 ($f_0 < f_1 < f_2$) は面積比を求める領域を決める閾値である。

$$\text{パワースペクトル面積比} = \frac{f_0 \sim f_2 \text{ までのパワースペクトル面積}}{f_0 \sim f_1 \text{ までのパワースペクトル面積}} \quad (\text{式-1})$$

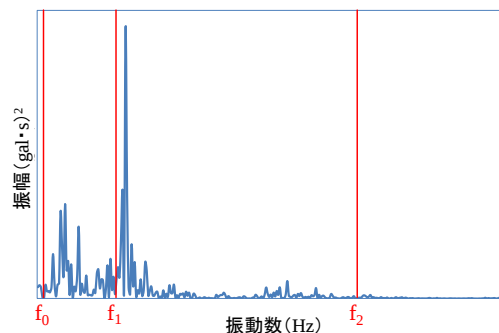


図-4 パワースペクトル面積比のイメージ

キーワード 常時微動、列車振動、河川橋梁

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) TEL042-573-7261

図-5 に橋脚ごとの固有振動数とパワースペクトル面積比の分布、図-6 に固有振動数とパワースペクトル面積比の関係を示す。閾値は固有振動数の実測値と標準値を参考にし、 f_0 は標準値の平均である 10.0Hz、 f_1 は実測値の最小値 (P4) である 15.0Hz、 f_2 は実測値の最大値 (P5) に余裕を考慮して 40.0Hz とした。両者には相関が見られ、既往の研究結果と同様、健全度診断指標として有効であることが確認された。この指標を用いて健全度評価をするに当たり、表-1 に示す健全度判定ランク A と B の境である $\kappa=0.85$ を健全度低下の一つの目安とし、各橋脚の固有振動数 (標準値) の 0.85 倍に対応するパワースペクトル面積比を管理値に設定することで、常時観測が可能になる。なお、図-6 の破線は固有振動数とパワースペクトル面積比の関係を直線近似したものであり、これに基づいて管理値を設定する。(図-6 中に P3 の管理値の例を示す。)

4. 列車通過時加速度振幅比 列車通過時加速度振幅比とは、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 (以下、 R_{AA} とする) または橋軸直角方向と鉛直方向の最大応答加速度振幅の比 (以下、 R_{AV} とする) である。

図-7 に橋脚ごとの固有振動数と R_{AA} および R_{AV} の分布、図-8 に固有振動数と R_{AV} の関係を示す。既往の研究で対象とした橋梁 (複線・ローラー支承) では固有振動数と R_{AA} に相関関係が確認できたが、今回対象とした橋梁 (単線・線支承) では相関が見られなかった。これは、線支承の場合は、ローラー支承のように橋軸方向の加速度が均一化しにくいことが要因として考えられる。一方で固有振動数と R_{AV} には相関が見られた。これは、複線橋梁の場合は、列車荷重の作用点が橋脚中心から偏心しているため、通過列車の線別によって橋脚の鉛直方向の振動が変化する可能性が高いのに対し、単線橋梁の場合は常に橋脚中心部に列車荷重が作用するため、鉛直方向の振動が均一化されやすいことが要因として考えられる。

以上より、橋梁の特徴に応じて、適切な評価指標を選定する必要があることが分かった。なお、 R_{AV} を用いて常時観測をする際には、パワースペクトル面積比の場合と同様、各橋脚の固有振動数の 0.85 倍に対応する値を管理値に設定する方法による。(図-8 中に P3 の管理値の例を示す。)

5. まとめ 既往の研究とは形式の異なる橋梁を対象とし、健全度診断指標の有効性について検証を行った結果、橋梁の特徴に応じて指標の有効性が変わることが分かった。今後は、対象とする橋梁形式の種類を増やし、健全度診断指標の有効性を検証し、整理する必要があると考えている。また、今回提案した、固有振動数を用いた構造物の健全度判定区分による管理値の妥当性についても、今後検証を進めて行く予定である。

参考文献 1) 雪岡ら：常時微動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) 阿部ら：鉄道橋梁橋脚の状態監視システムによる列車通過時加速度振幅比を用いた状態監視手法，鉄道工学シンポジウム論文集，第 18 号，pp.205-212，2014. 3) 国土交通省鉄道局監修，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 (構造物編) 基礎構造物・抗土圧構造物，丸善，2007.

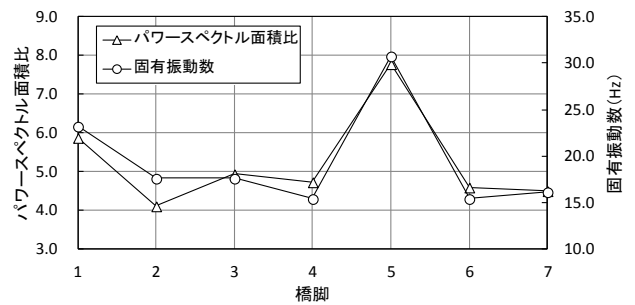


図-5 各橋脚の固有振動数とパワースペクトル面積比

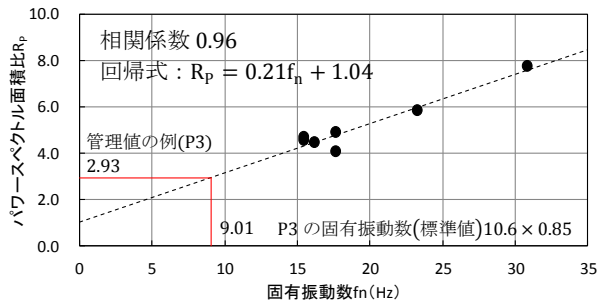


図-6 固有振動数とパワースペクトル面積比の関係

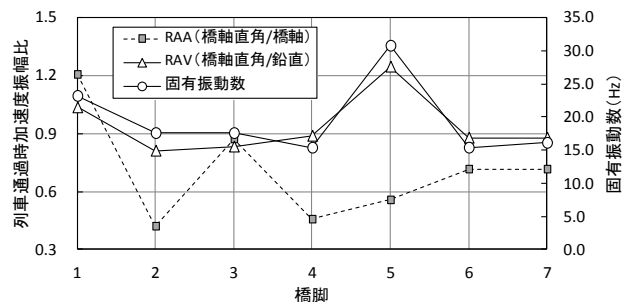


図-7 各橋脚の固有振動数と列車通過時加速度振幅比

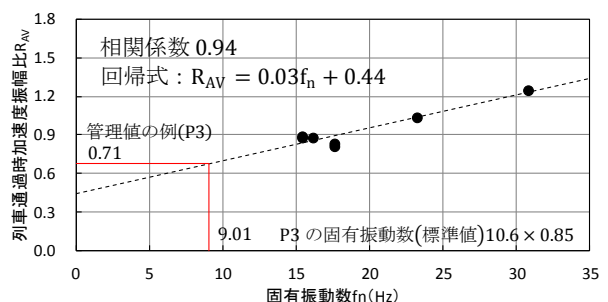


図-8 固有振動数と列車通過時加速度振幅比 R_{AV} の関係