

鉄道構造物の健全度判定手法の高度化を目的とした高次モード推定の可能性

(株) ジェイアール総研エンジニアリング
(公財) 鉄道総合技術研究所

獅子目修一, 白鳥 祐一, 山口 凜乃, 西村 隆義
名波 健吾, 坂井 公俊, 豊岡 亮洋

1. はじめに 鉄道構造物では、常時微動観測や衝撃振動試験等の振動計測により健全度を評価する手法が以前から活用されている。衝撃振動試験は、直接基礎の洗堀に代表される構造物基礎の健全度を把握する方法であり、鉄道構造物を中心としてこれまで多くの実績がある。

この衝撃振動試験に、構造物の高次モードの情報を含んだ評価を行うことで、例えば構造物基礎の損傷同定などのように、従来よりも広範な事象に対する健全度判定の実現も期待される。ただし、通常の衝撃振動試験では柱頂部あるいは桁部を打撃しており、高次モードのうち基礎付近等を中心に振動するモードを捉えられない懸念がある。そこで本検討では、橋脚と桁が連続している鉄道橋梁を対象として、センサーの配置密度を高めた上で打撃位置を変化させた複数回の衝撃振動試験を実施することで、高次モードを含む各モードを捉えるために適切な打撃位置を検討した。また前記の衝撃振動試験に対して常時微動観測を併せて実施し、打撃を行わない条件下において高次モードを含む振動モード同定の可能性について確認した。

なお、衝撃振動試験は線路直角方向のみ、常時微動観測は線路方向、線路直角方向それぞれに対して検討している。

2. 試験の実施方法 対象構造物の概要とセンサーの配置状況を図1に示す。対象はPC桁を支持する鉄道杭基礎橋脚である。鉄道橋脚の場合、衝撃振動試験の1次モードは、一般に橋脚天端が大きく振動するモードとなる。一方、高次モードとしては、橋脚の中央付近の振幅が卓越するモードや基礎が動くような振動モードが生じると想定される。そこで本検討では、基礎に近い位置の挙動を詳細に把握することを意図した4か所、すなわち地表面から1m, 2m, 4m(中央付近), 8m(天端)にセンサー(図中①～④)を配置した。さらに桁の挙動把握のために、別途センサー(⑤)を配置している。なお、常時微動観測用のセンサーは、前記①～⑤に加えて、地表面位置(⑥)にも設置した。

衝撃振動試験の打撃は、一般的に実施されている橋脚天端の打撃(Case1)に加えて、想定した高次モードを励起させるために柱下端位置の打撃(Case2)を実施した。図1には、具体的な打撃位置も示している。常時微動観測は、自然地盤上における観測結果を基準として、各観測点のフーリエ振幅比と位相差を算出した。この時には、微動観測記録のうち比較的静穏な時間のみを取り出して処理を行っている。

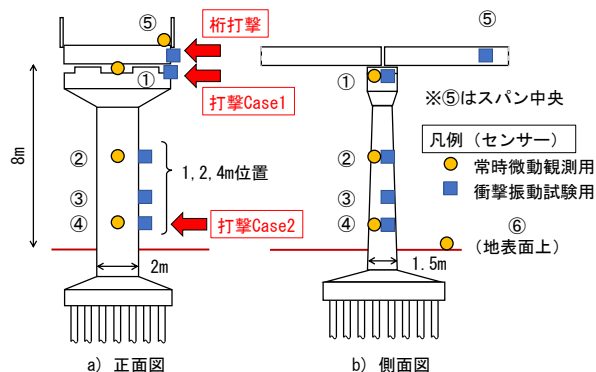


図1 対象構造物の概要とセンサーの配置状況

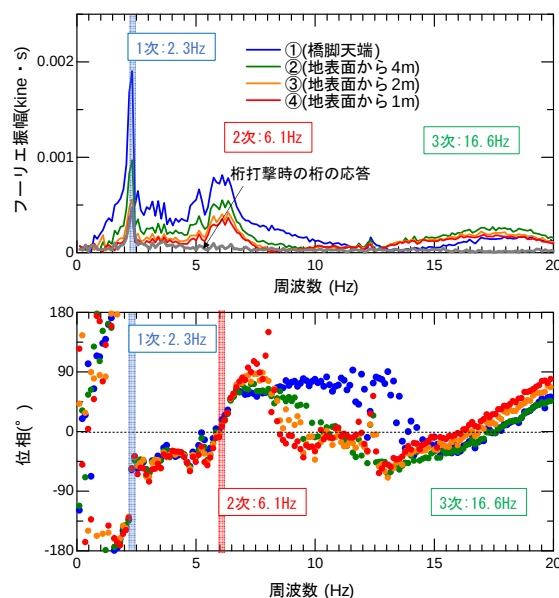


図2 衝撃振動試験結果(Case1)

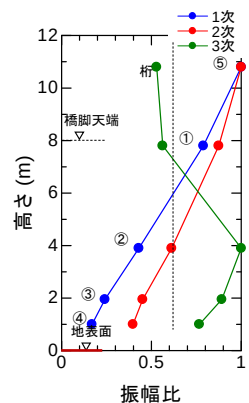


図3 振動モード(Case1)

キーワード 構造物の健全度評価, 高次モード, 衝撃振動試験, 常時微動観測

連絡先 〒186-0002 東京都国立市東 1-4-13 COI 国立ビル 8F TEL: 042-501-2603

3. 計測結果

(1) 衝撃振動試験の結果 打撃 Case1 により得られるフーリエスペクトルをまとめて図 2 に示す。図中に着目した 1 次～3 次の振動数を示す。各振動モードの特性を把握するため、着目振動数毎に得られる振動モード形状を図 3 に示す。なお、対象構造物では桁の重量が相対的に大きいと考えられ、これが振動特性に影響を与える可能性がある。そこで図 2 には、別途桁位置 (⑤) を打撃した際の桁の応答 (以下、桁応答と呼ぶ) も併せて示すが、桁応答は 2.3Hz 付近のみ卓越している。これらの結果より、図 2 の全体 1 次モード (2.3Hz 付近) は、桁の振動が主体となる振動モードであると考えられる。次に、全体 2 次モード (6.1Hz 付近) は、桁応答は小さいが、モード形状としては橋脚天端の振幅が相対的に大きいことから、橋脚単体を取り出した状態での 1 次振動モードに該当すると考えられる。全体 3 次モード (16.6Hz 付近) は、全体 2 次モードと同様に桁の応答は小さいが、モード形状では地表面付近の応答が卓越しており、橋脚単体としての 2 次モードもしくは基礎部の振動が主体となる振動モードであると考えられる。

次に、全体 3 次モード (16.6Hz 付近) を起振させる打撃を意図した Case2 の結果を図 4 に示す。この図には比較のため Case1 の結果も示している。Case2 では Case1 と比較して全体 3 次モードの振幅が大きくなっており、全体 3 次モードの存在がより明瞭になっている。この結果より、想定したモードを意図した打撃を行うことの重要性が確認できる。

(2) 常時微動観測の結果 常時微動観測記録を用いて、地表センサー (図 1 の⑥) と各センサーとのフーリエ振幅比を算出した結果を図 5 に示す。線路方向の結果に着目して衝撃振動試験結果と比較すると、桁が主体の全体 1 次モード (2.3Hz) 付近で応答が卓越しているものの、全体 2 次、全体 3 次の振動数では応答が小さく、現状ではピークの確認できない。したがって常時微動観測においても、衝撃振動試験結果と同様に桁が主体となって挙動するモードは確認できることが分かる。その一方で、全体系の 2、3 次モードを特定するためには、より詳細な分析を行う必要があることも確認できる。なお、線路直角方向の結果についても 1 次モードでは明瞭なピークが見られ、線路方向と同様の傾向が確認できた。

4. おわりに 本検討では衝撃振動試験と常時微動を用いた構造物の高次モードの同定に関する検討を行った。その結果、常時微動観測では、1 次モードは適切に把握できる一方で、高次モードについては処理方法に工夫が必要であることを確認した。一方で、打撃方法を工夫した衝撃振動試験を行うことで、高次モードも含めた振動モードを比較的容易に同定可能であることも確認した。これら高次振動モードの同定結果を活用することで、構造物の健全度判定が高度化される可能性も考えられる。今後は今回の計測結果を用いた再現解析等を実施する予定である。

参考文献 1) 西村ら：衝撃振動試験による健全度判定法，土木学会誌 Vol.78, No.8, 1993.8, 2) 伊藤ら：高次振動モードを用いた地震後の構造物健全度判定の高度化のための基礎的検討，土木学会論文集 A1(構造・地震工学)，Vol.77, No.4, 2021.

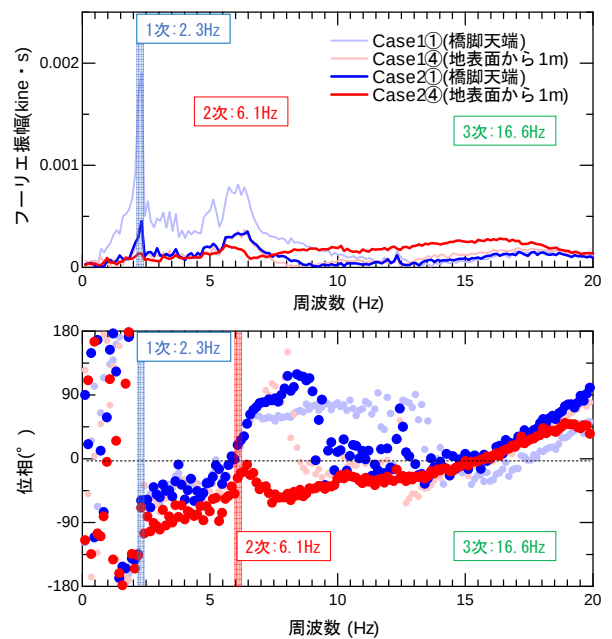


図 4 衝撃振動試験結果 (Case2)

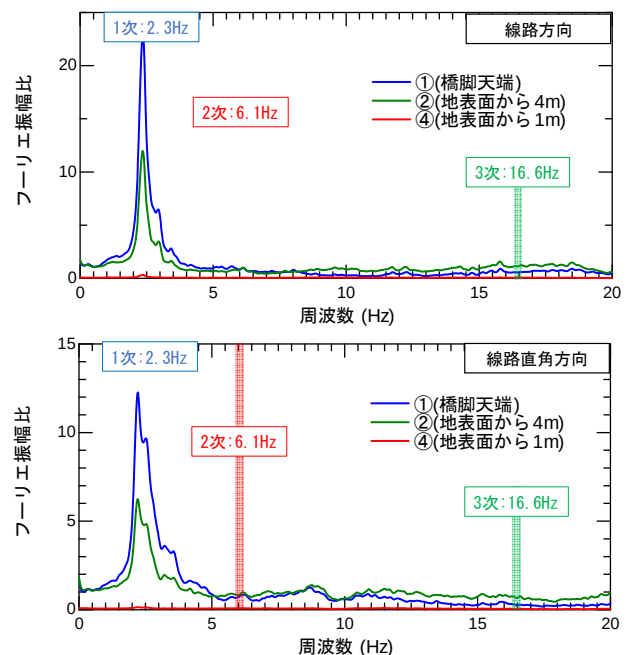


図 5 常時微動観測結果