

橋梁の高次振動モードを活用した健全度判定手法の高度化

(公財)鉄道総合技術研究所 正会員 ○伊藤公二, 坂井公俊, 豊岡亮洋, 室野剛隆

1. はじめに

地震発生後に、鉄道構造物の損傷の有無や損傷発生部位、損傷程度等を検知し、健全度を簡易かつ適切に判定することは、早期の運行再開や効率的な補修計画を策定する上で重要である。構造物の健全度判定法の一つに、被災前後の固有周期の変化を指標とするものがあり、中でも衝撃振動試験¹⁾は鉄道や道路の橋りょう下部構造物の健全度判定法として広く普及している。この衝撃振動試験は重錘打撃により構造物を強制加振し、応答波形から同定される水平1次モード固有周期を指標として健全度を判定するものである。

近年では計測器の分解能が向上するとともに、小型化・低価格化が進んでいるため、これまでの計測では評価が困難であった2次、3次といった高次振動モードの同定も可能となってきている。そのため、高次モードの情報を活用することで、地中部の損傷判定や損傷程度の定量的な評価といった健全度判定の高度化も期待される。そこで本検討では、高次モードの情報を考慮した損傷判定手法について、杭基礎を有する鉄道橋りょうを対象とした解析的な評価を行う。

2. 対象構造物および検討内容

(1)対象構造物 検討対象構造物は図1に示す杭基礎RC橋脚とし、解析方向は線路直角方向とする。解析モデルは2次元の梁とばね要素で構築し、杭―地盤相互作用ばねは鉄道基礎標準²⁾に準拠し算定する。固有値解析の結果、無損傷時の水平1～3次モード固有周期は0.715秒、0.129秒、0.050秒であった。

(2)損傷発生位置の違いによる固有周期の変化 一部の部材の剛性を低下させることで損傷の発生を模擬的に表現し、その位置を徐々に変化させた固有値解析を実施することで、損傷発生位置の違いによる各モード固有周期の変化の傾向を確認する。損傷部材の剛性の変化程度は初期剛性の0.1倍とする。この値は部材が降伏し、最大耐力に至るまでの領域における等価剛性に相当する。また、地中部材の損傷は、3列の杭基礎それぞれを別個に扱うのではなく、同一深度に存在する3列をまとめて扱うこととした。

各部材が1要素ずつ損傷すると仮定した条件で、水平1～3次モードの固有周期を算定した。これを無損傷時の固有周期で除した固有周期の変化率を横軸にとり、縦軸を損傷発生位置高さに合わせプロットしたグラフを図2に示す。この図には、無損傷時の各モードのモード形状も併せて示す。さらに図2(a)には地盤条件、およびプッシュ

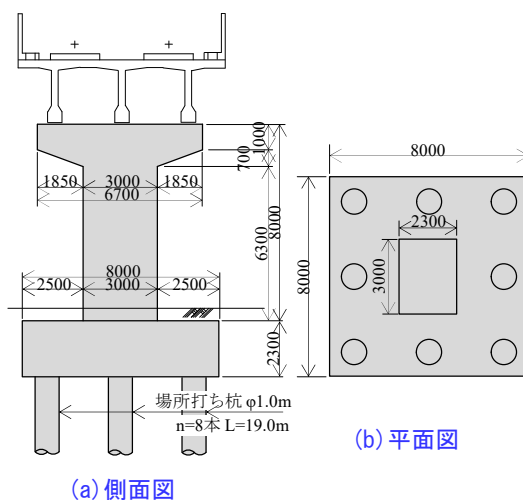


図1 対象構造物構造一般図

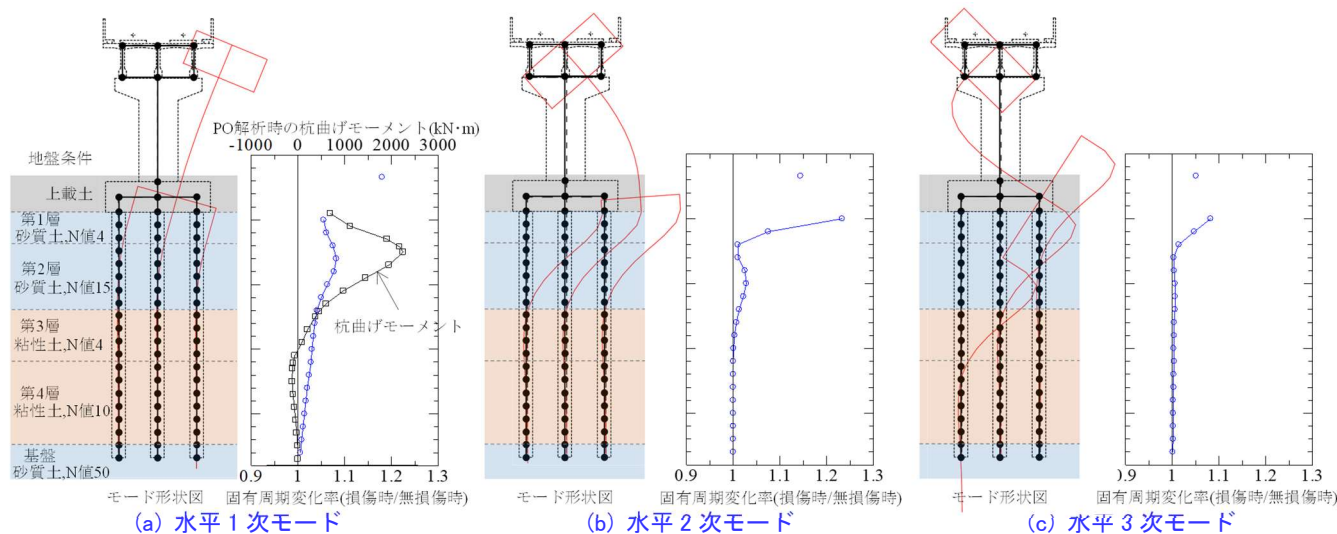
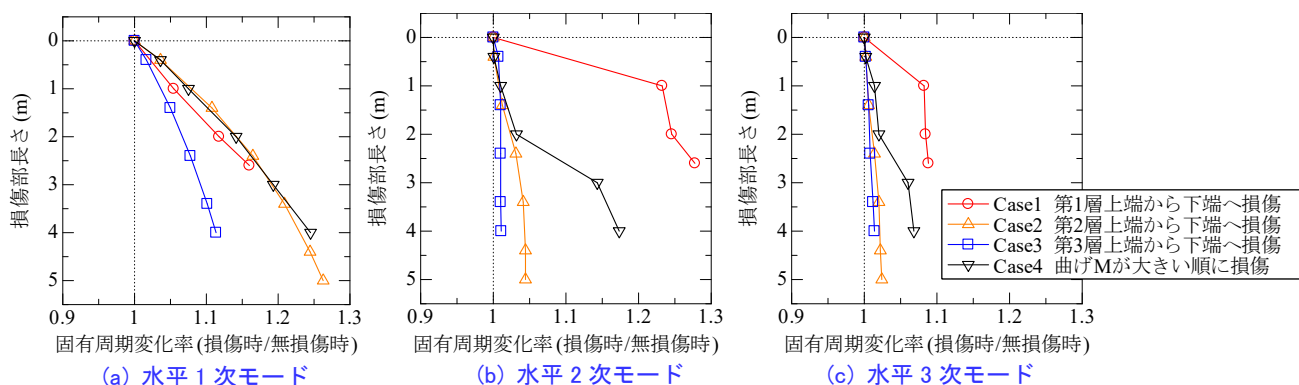


図2 1要素が損傷する場合の固有周期の変化率

キーワード 固有値解析, 衝撃振動試験, 健全度判定

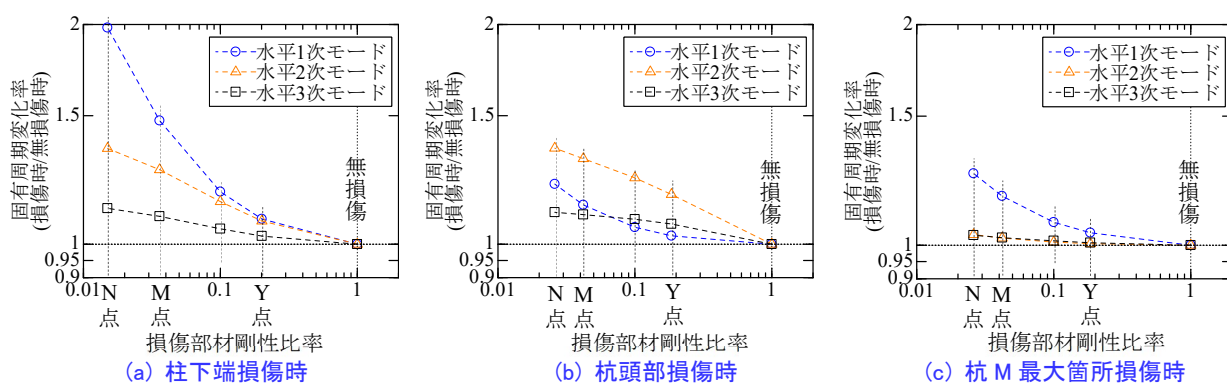
連絡先 〒186-8540 東京都国分寺市光町 2-8-38 (公財) 鉄道総合技術研究所 鉄道地震工学研究センター



オーバー解析により得た柱下端降伏時の右側杭の曲げモーメント分布図を併記する。これを見ると、杭の曲げモーメントが最大となる位置（杭頭から約 3m 位置）で、1 次モード形状においては大きな変形が見られるとともに、この部材が損傷した場合には固有周期の変化率が大きくなっている。水平 2 次モード、3 次モードでは杭頭部が損傷した場合に固有周期変化率が最も大きくなっているが、モード形状図においても杭頭の変形が大きい。以上より、モード形状で大きく変形している箇所において損傷が発生すると、固有周期が大きく変化することが分かる。

続いて、複数要素に損傷が発生する場合の固有値解析を実施する。損傷の発生位置と進展方向は Case1：第 1 層内杭上端から下端、Case2：第 2 層内杭上端から下端、Case3：第 3 層内杭上端から下端、Case4：杭の曲げモーメントが大きい要素から順に損傷、の 4 ケースを想定する。無損傷時に対する固有周期の変化率と損傷部長さの関係を図 3 に示す。水平 1 次モードでは第 2 層内杭の損傷を含む Case2,4 が最も固有周期変化率が大きい。水平 2 次モードでは杭頭部が損傷した際の Case1 の固有周期変化率が大きい。よって、損傷が進展する場合でもモード形状図で変形の大きい部材ほど損傷時の固有周期変化率が大きいことが確認された。

(3) 損傷程度の違いによる固有周期の変化 損傷した部材の剛性低下度合いを変化させた場合の、各モード固有周期の変化について検討する。損傷部材の剛性を、各部材の降伏時(Y 点)、最大耐力時(M 点)、終局時(N 点)に相当する等価剛性とし、固有値解析を実施する。損傷発生位置は柱下端、杭頭部、および杭の曲げモーメント最大位置の 3 ケース想定し、損傷の範囲は 1m とする。各ケースにおける水平 1~3 次モード固有周期変化率と、無損傷時に対する損傷部材剛性の比率の関係図を図 4 に示す。水平 1 次と 2 次に着目すると、柱下端損傷時と、杭 M 最大箇所損傷時では常に水平 1 次モード、杭頭部損傷時では常に水平 2 次モードの方が固有周期の変化率が大きい。よって、1 次と 2 次の固有周期変化率の大小関係を把握することで、損傷部位を特定するとともに、変化率の大きさから損傷程度を定量的に推定できる可能性がある。



3. まとめ

杭基礎を有する鉄道橋りょうを対象とし、高次モードの情報も考慮した損傷推定手法について、解析的な検討を実施した。その結果、モード形状で大きく変形している箇所が損傷すると固有周期の変化が大きくなること、各モードの固有周期変化率の大小関係を比較することで損傷発生位置を推定できる可能性があること、固有周期変化率を把握することで損傷程度を定量的に推定できる可能性があることを確認した。

参考文献 1) 西村ら：衝撃振動試験による構造物の振動特性の把握,第 19 回地震工学研究発表,1987. 2) (公財) 鉄道総合技術研究所：鉄道構造物等設計標準 同解説 (基礎構造物),丸善,2012.