

## 地震観測システムを利用した免震支承を有する PC 箱桁橋の動特性同定の試み

埼玉大学大学院 学生員 ○飛田 遼  
 埼玉大学大学院 正会員 松本 泰尚

### 1. はじめに

橋梁などの構造物の性能を客観的に評価する指標として、その剛性や質量、減衰特性が反映される動特性を利用する方法は有効となり得る。一部の構造物では、地震時の構造物の応答を把握するために、地震観測システムが設置されており、得られた地震時の観測記録から構造物の動特性が同定された実績がある<sup>1)</sup>。ただし、地震動の非定常性から、対象とする構造物の非線形性が無視できない場合などは、動特性の同定にあたって注意を要する。本研究では、免震支承を有する PC 箱桁橋に設置された地震観測システムによって記録された複数の地震記録から、対象橋梁の振動モード特性の同定を行った。振動モード特性の同定には、比較的短時間の記録で同定が可能なオブザーバ/カルマンフィルタ同定 (OKID) 法<sup>2)</sup>を用いることで、振動モード特性同定に与える入力振動の非定常性の影響を低減することを試みた。

### 2. 対象橋梁と地震観測システムの概要<sup>3)</sup>

対象橋梁は、1994年5月竣工の鉛プラグ入り積層ゴム支承 (LRB) を有する 9 径間連続 PC 箱桁橋である。LRB には、レベル 1 地震動に対して橋軸直角方向の動きを拘束するように鋼製のサイドブロックが設置されている。また、対象橋梁には、橋梁およびその周辺地盤に設置された 3 方向加速度センサー 8 台などで構成される地震観測システムが設置されている。本研究では、東北地方太平洋沖地震後に観測された 10 ケースの地震記録 (図-1) を用いた。なお、対象橋梁や地震観測システムの詳細は、参考文献<sup>3)</sup>を参照されたい。

### 3. 実験モード解析

OKID 法は、対象とするシステムの入出力の測定データからマルコフパラメータを算出し、これに時間領域のシステム同定法を適用することで、動特性を同定する方法である。その特徴は、マルコフパラメータ算出時に、有限時間内に大きさが 0 となる応答を持つ仮想的なオブザーバを構成することで、より少ない量のデータからのシステム同定が可能となる点である。対象橋梁は LRB を有しており、入力地震動の振幅等に依存した動特性の変化が予想されるため、本研究では、OKID 法を地震観測記録に適用することで、(1)異なる地震時の動特性、(2)地震時における橋梁の動特性の時間変化、について検討した。なお、動特性の同定には、Eigensystem Realization Algorithm (ERA)<sup>2)</sup>を用いた。以下では、動特性同定にあたり、入力を地表面付近での加速度記録、出力を P4 上箱桁内、P4-P5 間箱桁内、P4 橋脚天端の加速度記録とした、1 入力 3 出力での結果を示す。

### 4. 異なる地震動を用いた固有振動数の同定結果

橋軸方向の各地震記録より同定された 1 次振動モードの固有振動数と、地表面付近での水平最大加速度の対応を、図 1 に示す。10 ケース中 9 ケースについては、3.04~3.28 Hz (周期 0.305~0.329 秒) の間で 1 次の固有振動数が同定され、水平最大加速度との相関は認められなかった。一方、2011 年 3 月 11 日の茨城県沖を震源とする地震の場合、1 次の固有振動数は 1.61 Hz (周期 0.621 秒) と他 9 ケースと大きく異なる結果となった。

本研究の対象橋梁では、東北地方太平洋沖地震に対し、前述の地震観測システムで得られた観測記録に基づいて、動的応答に関する詳細な分析が行われており、橋軸方向の主要な振動モードである免震支承に支持された上部構造が剛体的に挙動するモードが、周期 0.5~0.8 秒における橋脚頂部から箱桁内への応答増幅の要因となっていたことが推定されている<sup>3)</sup>。本研究で用いた 2011 年 3 月 11 日の茨城県沖での地震は、東北地方太平洋沖地震より小さかったものの、図 1 に見られるように 10 ケース中最大であり、同定された固有振動数は、東北地方太平洋沖地震時に応答増幅が見られた周期の範囲に相当することから、当該地震時においても東北地方太平洋沖地震時と同様の応答性状を示したものと推定できる。一方、本研究で用いたその他 9 ケースの地震

キーワード 免震橋梁, 地震観測システム, モード解析, 固有振動数

連絡先 〒338-8570 埼玉県さいたま市桜区下大久保 255 埼玉大学大学院理工学研究科 TEL: 048-858-3557

時には、上述の通り、同定された固有振動数は顕著に高く、これらの地震動は、LRB が免震支承として機能するに至らない小さいものであったと推定できる。

### 5. 地震時における橋梁の動特性の時間変化

図2に、OKID法による固有振動数の同定結果の例を示す。上の図には、約20秒を1区間とし、その区間を約1秒ずつずらしながら、それぞれの区間のデータで固有振動数を同定した結果を、地表面付近での水平加速度の時刻歴と合わせて示している。下の図には、各区間の加速度 r.m.s.値と固有振動数の関係を示している。また、上下図で対応する同定結果を、同色のマーカーで示している。

図より、地震動の初期部分で固有振動数が低下し、主要動の振幅が最大となる付近では固有振動数が上昇、その後再び固有振動数が低下した後、おおよそ一定の値となる結果が得られたことがわかる。固有振動数と加速度 r.m.s.値との間に着目すると、同定結果のばらつきは大きいものの、地震動の初期部分では、r.m.s.値の増加とともに固有振動数が低下する傾向が、それ以外の部分では、r.m.s.値の増加とともに固有振動数が上昇する傾向が、それぞれ認められる。地震動の初期部分での固有振動数の低下は、支承に生じるせん断ひずみの増大により、積層ゴムの水平剛性で固有振動数が決定される状態になったことが推定できる。一方、主要動中の固有振動数の上昇については、その際の免震支承のせん断ひずみレベルは、積層ゴムのハードニングが生じるほど大きくはなく、その理由は明らかになっていない。

### 6. まとめ

本研究では、地震観測システムを利用した免震支承を有するPC桁橋の振動特性同定を試みた。複数の地震観測記録から、振幅に依存するLRBの復元力特性を反映した対象橋梁の振動モードが同定された。また、地震観測記録を短時間の区間に分割してOKID法を適用した結果、時間変動する対象橋梁の動特性が同定された。

### 謝辞

本研究では首都高速道路株式会社よりご提供いただいたデータを用いた。ここに記して謝意を表す。

### 参考文献

- 1) 藤野陽三, シリゴリンゴ・ディオシウス, 並川賢治, 矢部正明: 2011年東北地方太平洋沖地震における横浜ベイブリッジの応答, 土木学会論文集A1(構造・地震工学), 69(2), 372-391, 2013.
- 2) Juang, J.-N.: Applied System Identification, Prentice Hall, 1994.
- 3) 溝口孝夫, 大西孝典, 矢部正明, 鍋島信幸: 東北地方太平洋沖地震の強震記録による免震支承を有するPC桁橋の地震応答解析, 橋梁と基礎, 47(10), 30-36, 2013.

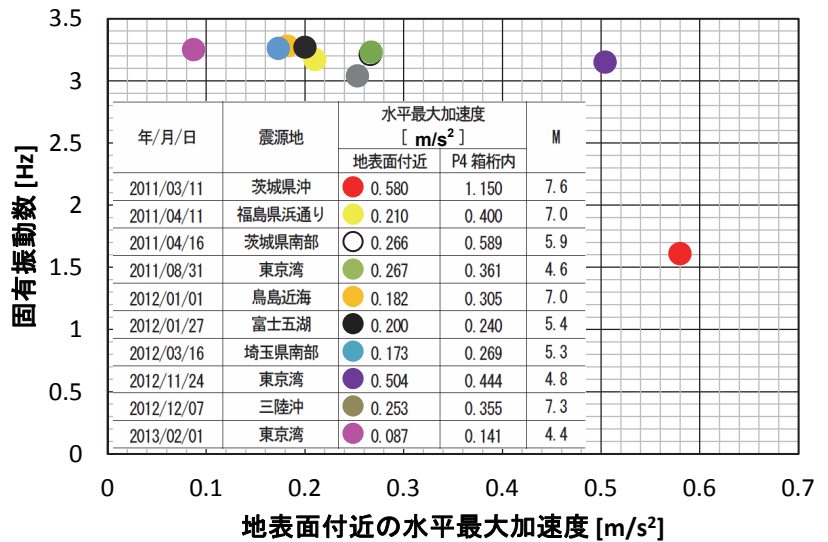


図1 地震諸元と地震時(10ケース)の1次固有振動数同定結果

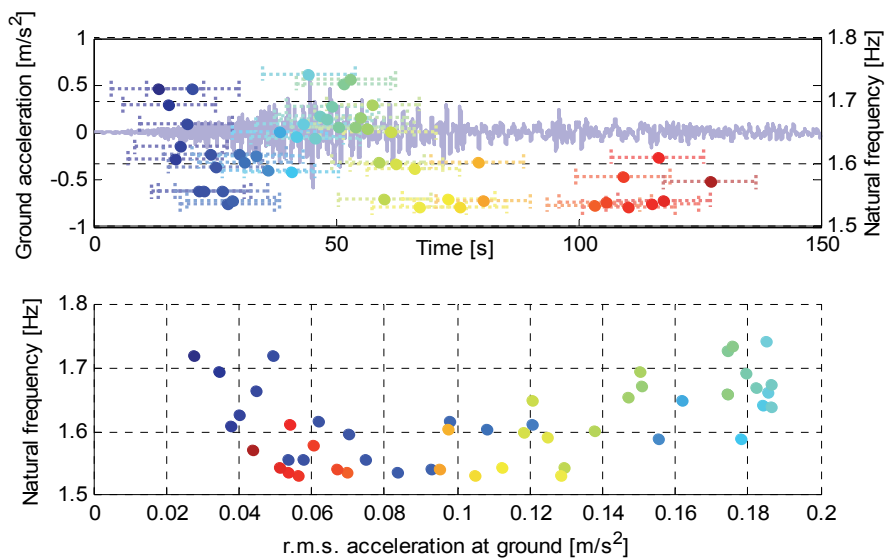


図2 固有振動数の時間変動(上:時間-固有振動数,下:解析区間での加速度実効値-固有振動数)