

ウェーブレット解析手法を用いた既設構造物の固有振動数特定手法の提案

神戸大学大学院 学生員 ○山本 和宏 (株)アーバン・エース 正員 庄 健介
神戸大学工学部 正員 北村 泰寿 (株)アーバン・エース 佐藤 亮

1. はじめに

鉄道構造物の健全性を確認する方法として衝撃振動試験が¹⁾鉄道分野では広く利用されている。筆者らは、これまでの数多くの実測²⁾から、構造物に桁や付属構造物等がある場合や道路交通等の振動源が近傍にある場合には、その影響を受け複数の卓越振動数が近接して現れることを経験している。このため、フーリエ解析結果から構造物の1次固有振動数を特定するのに苦心してきた。本報では、これらの課題を解決するため、最近、地震波の解析や橋梁の健全度診断に適用されているウェーブレット解析を利用し、構造物の固有振動数を特定する方法を提案する。

2. 対象構造物

検討対象は、図1に示す鉄道橋脚である。橋脚は中層梁をもつ複線2柱式のラーメン構造物であり、基礎形式は杭基礎である。また、片側に支間約64mのトラス桁が架設されている。トラス桁の下には片側2車線、計4車線の高速道路があり、高架橋の両側にも線路方向に2車線ずつ、交通量の多い幹線道路が通っている。このように対象とした構造物は桁や通過車両による振動を非常に受けやすい環境にある。

3. フーリエ変換による固有振動数の推定

衝撃振動試験では、測定された振動速度波形から得られるフーリエ振幅スペクトルより、位相差が180度となる卓越振動数を固有振動数として読みとる。図2に橋脚の天端での測定結果を示す。上から順に、振動速度波形、フーリエ振幅スペクトル、位相差スペクトルである。フーリエ振幅スペクトルを見ると、0.3Hz、2.0Hz、2.7Hz、3.3Hz、5.2Hz、6.0Hz、7.3Hz付近に計7つのピークが見られる。位相差スペクトルが180度付近を示していない0.3Hzを除いた6つのピークのうち、いずれが橋脚の固有振動数であるか、この情報だけでは判断できない。

次に、隣接するトラス桁の中央で計測した測定結果を図3に示す。図3を見ると2.0Hz付近に大きなピークが見られ、位相差も180度を示していることから、2.0Hzは桁の固有振動数と推定される。しかし、3.3Hz付近と7.3Hz付近にも小さなピークが見られ、これが桁の固有振動数である可能性も完全には否定できない。

4. ウェーブレット解析による固有振動数の推定

ウェーブレット解析に用いるウェーブレット関数は振動数と時間の2つのパラメータを含んでおり、振動数の時間的変化を分析することができる。したがって卓越振動数の時間変化から固有振動数を推定することが可能である。橋脚のデータにウェーブレット変換を施したウェーブレットスペクトルのコンター図を図4に示す。なお、コンター図では、白色に近づくほどスペクトル値が大きくなっており、その箇所が卓越振動数を表している。図では横軸が時間(単位:秒)を表し、縦軸が振動数(単位:Hz)を表している。これを見ると3Hz付近と、5~6Hz付近にピークが観察される。さらに、2Hz付近にもピークが見られるが、このピークは4秒付近まで連続している。これは、他に比べ減衰の遅い振動であることを表している。

キーワード：衝撃振動試験、ウェーブレット変換、ウェーブレット多重解像度解析、健全度診断、固有振動数

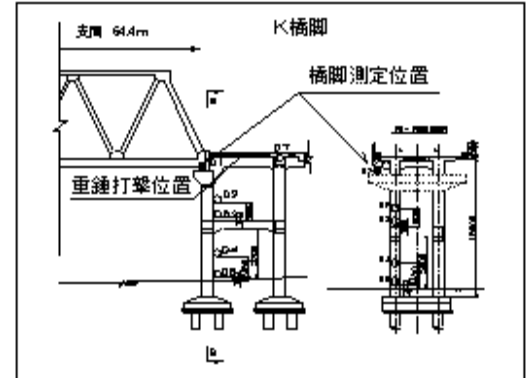


図1 K橋脚

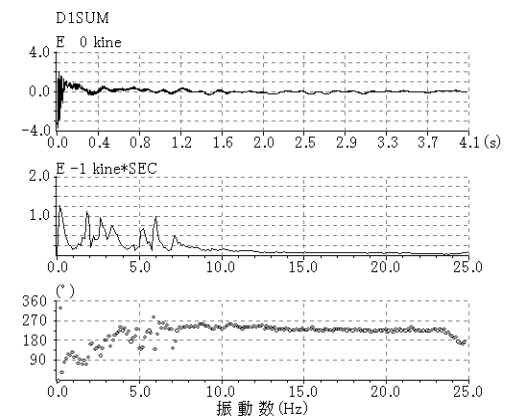


図2 橋脚天端における測定結果

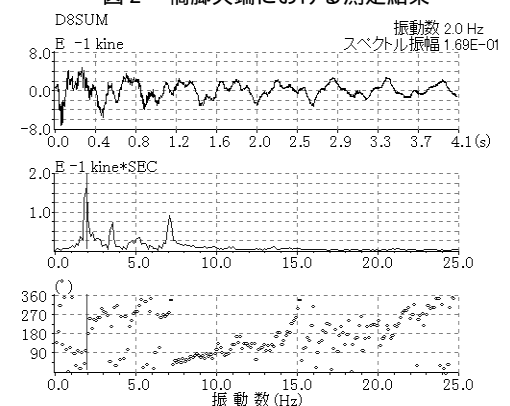


図3 トラス桁中央部における測定結果

また 5～6 Hz 付近の振動は、その後も繰り返しピークが現れていることがわかる。3 Hz 付近の振動は初期にピークが現れ、その後は明確なピークは認められない。このため、3.0 Hz 付近に構造物の 1 次固有振動数が存在すると推定される。

5．多重解像度解析による固有振動数の推定

つぎに、ウェーブレット多重解像度解析を用いて測定された振動速度波形をいくつかの周波数帯毎に分解し、この分解波形にフーリエ変換を施すことにより、固有振動数の特定を試みた結果を示す。橋脚に対するウェーブレット多重解像度解析結果として、レベル $j = -6, -7, -8$ の分解波形を図 5 に示す。図にはそれぞれの周波数帯域による分解波形とその分解波形に対するフーリエ振幅スペクトルが示されている。

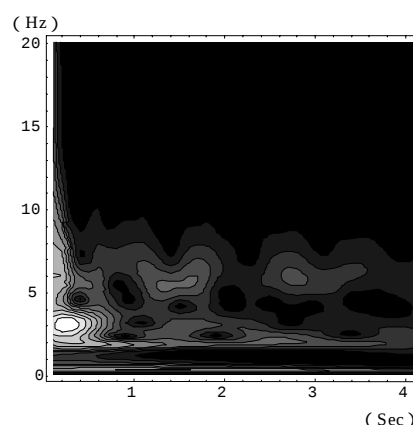


図 4 ウェーブレット解析によるコンター図

図 5 のレベル $j = -6$ では、5 Hz と 6 Hz 付近に 2 つのピークがみられる。しかし、分解波形をみると減衰が見られず、繰り返し波形が現れており、位相差スペクトルも乱れていることから衝撃による振動とは考えにくい。何らかの外的な要因による継続的な振動と考えられる。レベル $j = -7$ では 2.7 Hz 付近に大きなピークが見られ、位相差スペクトルも 180 度となっている。分解波形を見ると減衰振動を示しており、重錘の打撃による減衰自由振動による波形であると考えられる。2.2 Hz と 3.3 Hz にも小さなピークが見られるが、ピークの大きさから 2.7 Hz が橋脚の固有振動数であると推定される。レベル $j = -8$ では 2.0 Hz 付近にピークが見られ、位相差スペクトルも 180 度を示している。また、分解波形を見ると非常にゆっくりとした減衰振動となっている。これは隣接する桁の周期であると考えられる。

以上の結果により橋脚の固有振動数は 2.7 Hz であると判断できる。

6．おわりに

本検討では、衝撃振動試験によって得られた測定波形から固有振動数を特定する方法として、ウェーブレット解析とウェーブレット多重解像度解析の適用を試みた。ウェーブレット解析の適用により、測定波形に含まれる振動数の時間的変化を分析することができた。これにより道路交通振動等の外部振動源の影響を把握することが可能となった。また、ウェーブレット多重解像度解析を適用することにより、測定振動波形をいくつかの周波数帯域ごとに分解することができた。これらの結果から、打撃による橋脚の減衰自由振動波形をこの分解操作により取り出し、ウェーブレット解析による時間 - 周波数分析結果を援用すれば、固有振動数の特定精度を改善できることが明らかとなった。

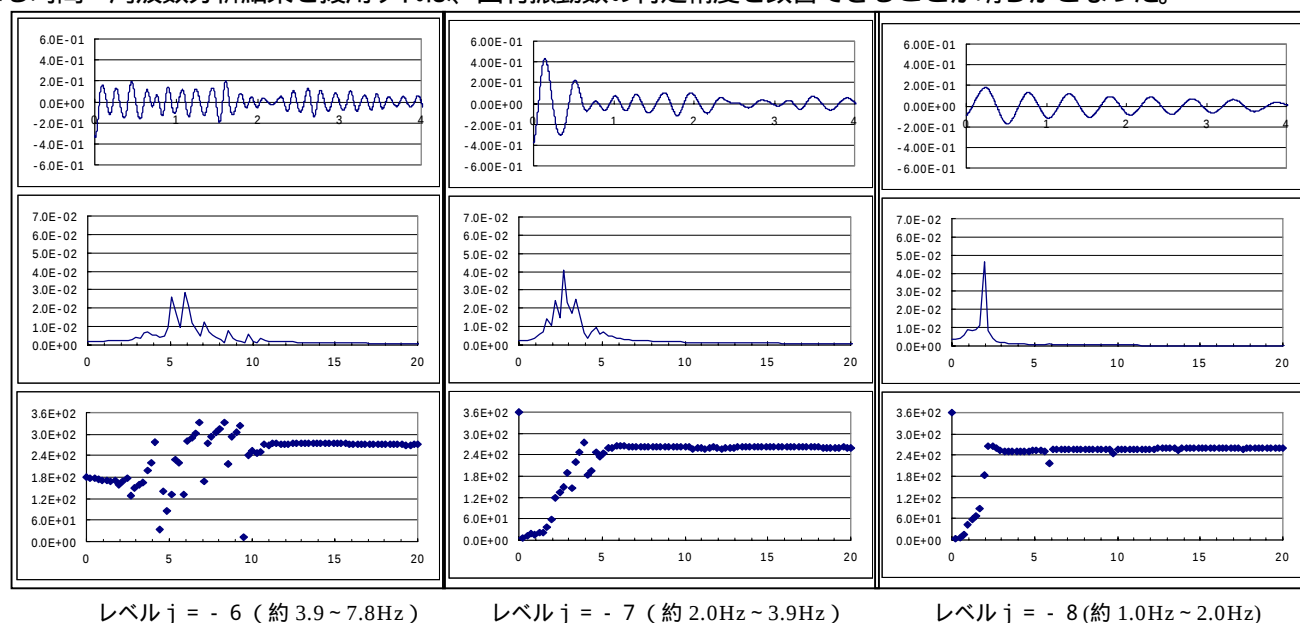


図 5 多重解像度解析結果

参考文献

- 1) 西村昭彦：衝撃振動試験によるラーメン高架橋の健全度判定、日本鉄道施設協会誌、1991
- 2) 庄健介・北村泰寿他 2 名：既設道路橋橋脚の固有振動数推定に関する一検討、建設工学研究所論文報告集、1999