

橋梁の供用時振動計測に基づくモード同定と通過交通の振動特性値への影響

熊谷組 正会員○和泉 彰

埼玉大学 正会員 山口宏樹, 学生員 伊藤 信

埼玉大学 正会員 吉岡 勉, 正会員 松本泰尚

1. はじめに

現在、我が国は多くの土木構造物の更新期を迎えており、従来の目視検査等の人的な維持管理手法における効率性や損傷評価の問題点も指摘されている。このような背景にあって、新たな構造健全度評価手法の一つとして、長大橋における適用性から、常時微動計測に基づく方法が研究されている。しかし、中規模の橋梁では、振幅が小さい為 SN 比が高いことに加え、主たる外力である橋梁上の通過交通が橋梁の振動特性に及ぼす影響が明確でない為、微動計測の適用性については明確でない。そこで本研究では、供用中の微動計測に基づいたモード特性と常時微動特性の解明を目的として、2つの中規模道路橋を対象に供用時微動計測を行い、モード同定を行った。また、時間周波数情報同定に優れたウェーブレット解析を用い、車両通過の時間依存性を考慮した振動特性の影響の解明を試みた。

2. 実橋での振動計測

(1) 振動計測及び解析の概要 対象橋梁は、図-1 に示した PC 箱桁 3 径間連続橋 (L=208m、以下「A 橋」と単径間鋼アーチ橋 (L=102.4m、以下「B 橋」) である。計測は、B 橋では側径間部でサーボ型速度計を用い速度成分を計測し、A 橋では同計測器に加え圧電式ピックアップを用いて加速度成分を計測した。両橋において、サンプリング周波数は 200Hz で多点同期計測を行っており、さらに通過交通の様子を撮影している。各橋梁の時系列波形を図-2 に、スペクトル図を図-3 に示す。解析方法は、常時微動データに RD 法を用いて自由振動波形を抽出し、ウェーブレット変換を用いてモード分解を行った後、自由振動波形の理論式による曲線適合によって振動特性を同定した。また、解析ソフト Multiframe を用いて立体骨組モデルによる固有振動解析を行い、両橋の理論的な振動モード特性の把握を行った。

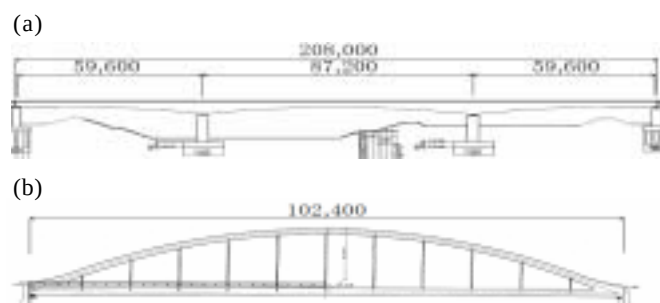


図-1 対象橋梁側面図 (a)A 橋(b)B 橋

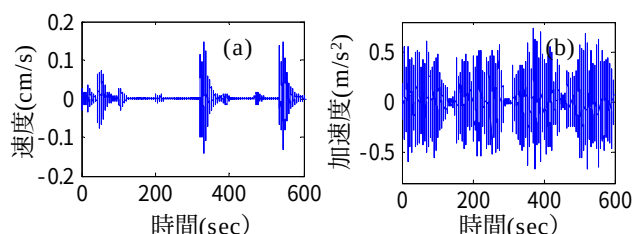


図-2 供用時微動の時系列波形 (a) A 橋, (b) B 橋

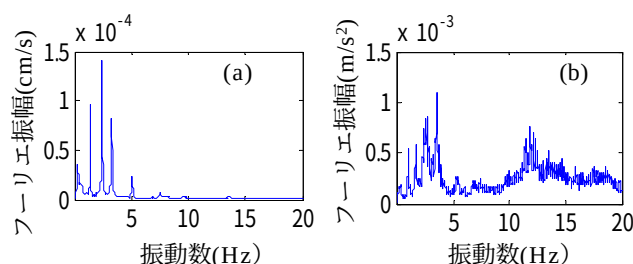


図-3 フーリエスペクトル (a) A 橋, (b) B 橋

表-1 モード同定結果

(a) A 橋			
モード次数	固有振動数 (Hz)		平均相関係数
	理論値	実験値	
1	1.44	1.33	96%
2	2.44	2.37	96%
3	3.33	3.22	90%
4	6.18	5.06	62%
5	8.71	6.79	36%
6	9.71	7.85	43%

(b) B 橋			
モード次数	固有振動数 (Hz)		MAC
	理論値	実験値	
1	1.12	1.05	97%
2	1.71	1.65	96%
3	1.85	1.75	90%
4	2.50	2.55	95%
5	3.69	3.65	89%

キーワード：常時微動、振動計測、ウェーブレット解析、交通振動、時間周波数特性

連絡先：338-8570 さいたま市桜区下大久保 255 埼玉大学院理工学研究科 Tel/Fax: 048-858-3552

(2) モードの同定結果 各橋梁のモード同定結果を表-1(a)、(b)に示す。表-1(a)では、結果の精度指標として平均相関係数を示し、表-1(b)では MAC (Modal Assurance Criteria) を併せて示した。結果を見ると、A 橋において、モード次数が 4 次以上の平均相関係数が低いことが分かる。この原因として、A 橋では図-2(a)の時系列波形から分かるように、通過交通の特性から、非定常性が強いと予想される。そのため、外力に定常性を仮定する RD 法を直接的に適用した場合、同定結果に影響する可能性がある。そこで、通過交通の影響を考慮した解析を試みた。

3. 通過交通による振動特性値への影響

(1) 非定常性による影響 A 橋において、時系列波形から車両通過部分を抽出し、再構成した時系列波形を対象に同様の解析を行った。表-2 は、表-1(a)において平均相関係数が低かった 4 次と 6 次に対応する結果を比較したものである。平均相関係数が大きくなっていることから、元の時系列波形に直接的に RD 法を適用した場合よりも同定精度が上がっていると考えられる。つまり、車両通過時のみの波形を用いたことで、外力の定常性という RD 法の仮定をより近似出来たのだと思われる。

(2) 質量効果による影響 A 橋での結果から、通過交通の特性を考慮した解析を行うことによって精度が上がり得ることが分かった。そこで、表-1(b)で安定した同定結果が得られた B 橋においても同様に通過交通の特性による影響について検討した。B 橋は、A 橋と異なり非常に多くの交通量があり信号による停止時間以外は連続的に車両が通過している。そこで、車両通過時とそれ以外に分けて検討することにした。時間的な変化を見るために、時間周波数プロットを示したのが図-4(a)、(b)である。(a)はスペクトルで示した振動数帯に対応しており、(b)は 1 次モード振動数帯における時間周波数プロットを拡大した卓越値のピークを表している。(b)より、1.0Hz 付近は車両の通過の無い時間帯に振動数の変動が見られる。具体的には、車両通過時は 1.0Hz を中心として変動しているが、円で囲んだ車両通過の無い時間帯はほぼ 1.1Hz を中心として変動していることが分かる。この原因として、車両通過の有無に合わせて変動しているので、車両の質量効果を考えた。そこで、信号によって車両の通過の無い時間帯のデータから、映像

表-2 A 橋での時系列の扱い方による影響

モード 次数	振動数 (Hz)		平均相関係数	
	全体	通過時のみ	全体	通過時のみ
4	5.06	5.03	62%	84%
6	7.85	7.49	43%	95%

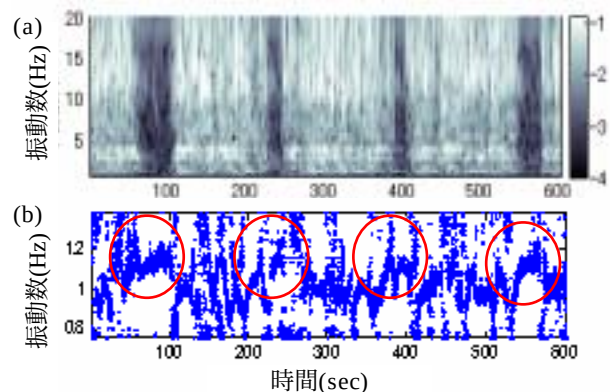


図-4 B 橋の時間周波数プロット

表-3 橋梁上の車両数による振動数の変化

モード次数	固有振動数 (Hz)		
	車両無し	車両 (少)	車両 (多)
1	1.12	1.10	1.09
2	1.74	1.75	1.71
4	2.68	2.67	2.57
5	3.62		3.59

に基づき橋梁上の停車車両数を概算した。その後、大小により 3 区分したデータに対して、モード同定を行った。表-3 に低次の固有振動数の結果を示す。この結果から、1 次だけでなく低次のモードにおいて、橋梁上の車両が多いと固有振動数が低下していることが分かる。これは主に車両が橋梁上に停止している時のデータであるので、通過車両の質量効果により、固有振動数の若干の低下が表れていると言えらる。

4. 結論

中規模の道路橋において、供用時計測から RD 法とウェーブレット変換を用いた方法によるモード同定を行った。A 橋での解析結果から、通過交通の特性による影響を考慮した同定を行うことが、固有振動数の同定精度の向上に繋がる可能性を示した。また、B 橋のような多くの交通量を有する橋梁において、本研究で用いた同定方法による結果は質量効果のばらつきを含んでいる可能性があることが分かった。今後、供用時計測に基づく同定結果を用いて健全度評価を試みる場合、通過交通の特性を考慮した同定方法を適用する必要があると言えらる。その際に、時間周波数解析は有用な方法の一つと考えられる。