

実稼働モード解析による単径間 PC 橋の振動減衰特性同定

埼玉大学大学院 学生員 ○田中 俊成
 埼玉大学大学院 Sheharyar e Rehmat
 埼玉大学大学院 正会員 松本 泰尚
 埼玉大学大学院 フェロー会員 山口 宏樹

1. はじめに

国内外での橋梁の老朽化問題を背景に、構造動特性を利用した健全度モニタリングに関する研究が活発に行われている。橋梁の動特性の一つである振動減衰は、損傷や劣化による変化が比較的大きいとの見解がある一方、振動計測データからの同定精度が高くないことや、減衰要因が多岐にわたる場合には減衰変化の物理的解釈が困難であることなどの課題がある。本研究では、構造が比較的単純で減衰要因が限られていると推定でき、また道路橋として広く用いられている単径間 PC 橋を対象に、供用年数の異なる複数の橋梁において一般車両走行時に励起される振動を計測し、それらのデータからモード減衰特性を同定した結果について報告する。

2. 対象橋梁と振動計測

本研究で振動計測の対象とした橋梁を表 1 に示す。表では、対象橋梁を竣工年順に示している。対象とした橋梁の選定の際には、単径間 PC 橋であること、同程度の橋長であること、供用年数に幅を持たせること、交通量が過大でないこと、などを条件とした。なお、対象橋梁では、目視できる損傷や劣化は報告されていない。

各橋梁において、一般車両通行時に励起される振動を対象に、1 時間程度の計測を実施した。図 1 に計測時の振動センサの配置例を示す。計測には、携帯用振動計測システム（東京測振 SPC-51A）あるいは無線振動計測システム（JIP テクノサイエンス BHELMO）を用い、100 サンプル毎秒以上のサンプリング周波数でデータを記録した。

表 1 対象橋梁一覧

橋梁名	竣工年	構造形式	橋長	幅員
I (old)	1975	プレテン T 桁	16.33	9.50
II (old)	1975	プレテン中空床版	16.13	9.50
III	1976	プレテン T 桁	16.60	18.00
IV	1978	プレテン T 桁	19.66	13.95
V	1980	プレテン T 桁	20.80	16.80
VI	1985	プレテン T 桁	19.30	7.50
I (new)	1991	プレテン T 桁	16.33	9.50
II (new)	1991	プレテン中空床版	16.14	9.50
VII	1991	プレテン T 桁	17.36	12.00
VIII	1994	プレテン T 桁	15.00	10.00

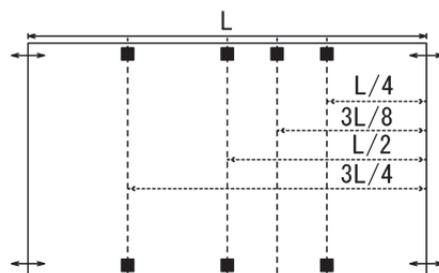


図 1 振動センサ配置例

3. 実稼働モード解析

本報で述べる実稼働モード解析では、車両通過後の自由振動に対し Eigensystem Realization Algorithm (ERA) を適用した。自由振動の抽出にはビデオ記録を利用し、車両通行が途切れた後の波形を自由振動と見なした。ERA 解析では、自由振動記録から得られるハンケルマトリックスの特異値の大きさに基づき同定対象とするシステムの次数を決定するほか、システム次数の変化に対するモード特性の安定性などから、物理的な振動モードを同定する。その際、固有振動数が安定して同定されたモードであっても、システム次数によって減衰定数のばらつきが顕著な場合もあった。そこで本研究では、特にシステム次数の変化に対する減衰定数の安定性に着目して振動モード特性を同定した。

4. 振動モード同定結果

表 2 に、対象橋梁で同定された振動モードの固有振動数の範囲とモード形状を示している。以下、便宜上、表に示した番号で各振動モードを表す。表に見られるように、モード 1 と 3、モード 2 と 4 は、実験モード解析のみでは振動モード形状の区別が難しかったため、有限要素モデルを用いた理論モード解析を合わせて行っ

キーワード 実稼働モード解析, 減衰定数, ERA 解析, 供用年数,

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

表 2 同定された振動モード

モード	固有振動数	モード形状 (実験)	モード形状 (理論)
1	6.39~9.13 Hz		
2	6.66~11.9 Hz		
3	9.76~20.8 Hz		
4	15.9~33.9 Hz		

ており、その結果も表 2 に示している。橋梁や実験モード解析の対象とした自由振動記録によっては、表 2 のいずれかの振動モードが同定されなかった場合もあったが、モード 2 と 3 は、橋梁 V 以外のすべての橋梁で比較的安定して同定された。橋梁 V は歩道の幅が広く、車両が橋梁の中央付近を通過するため、振動モード形状から判断して、モード 2 と 3 が励起されにくかったものと推定される。モード 1 については、比較的古い橋である橋梁 I(old)と II(old)では、自由振動のフーリエスペクトルにおいて、モード 1 の固有振動数付近のピークが明確でなく、ERA 解析では限られた自由振動のみでしか同定されなかった。

5. 供用年数と減衰比の関係

図 2 は、比較的安定して同定されたモード 3 の減衰定数と橋梁の竣工年の関係を示している。古い橋梁において、減衰定数が大きくなるものがあったことが分かる。減衰定数が大きくなった橋梁 I(old)と II(old)は、ほぼ同様の構造形式で、供用年数の異なる橋梁 I(new)と II(new)が並行して設置されており、橋梁 I, II のいずれにおいても、供用年数が長い橋梁の減衰定数が顕著に大きい。上述の通り、これらの橋梁では、目視できる損傷や劣化は報告されておらず、当該橋梁における損傷や劣化の有無と減衰の関係を示しているとは必ずしも言えない。しかし、異なる橋梁で 0.015~0.02 と同程度の減衰定数が得られていることも合わせて考えると、今後も構造状態の評価における減衰利用の可能性を検討することに意義はあることを示唆する結果であると考えている。

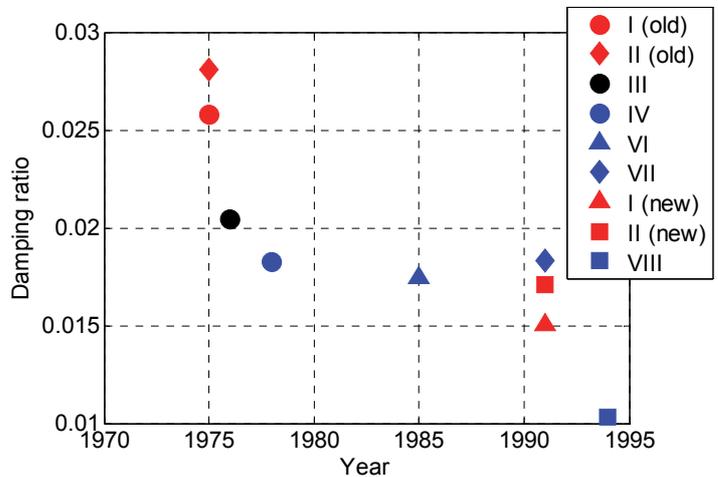


図 2 モード 3 の減衰定数と竣工年の関係

6. まとめ

橋長 15~20 m の単径間 PC 桁橋および PC 中空床版橋において、振動数 35Hz までの範囲で、概ね 4 種類の振動モードが同定された。特に、モード 2 (ねじれ 1 次) と、モード 3 (曲げ対称 1 次に橋軸直角方向に沿った曲げ対称 1 次が組み合わさったモード) は、ほとんどの橋梁で比較的安定して同定された。モード 3 の減衰定数に着目すると、供用年数が長い橋梁において減衰が大きくなるものがあった。

謝辞 振動計測にあたり、埼玉県総合技術センターと県土整備部にご協力いただいた。記して謝意を表す。