

都市高速道路出路橋の現地振動実験データを用いた振動モニタリング適用性検討

神戸大学大学院 フェロー 川谷 充郎

京都大学大学院 正会員 金 哲佑

神戸大学大学院 学生会員 ○山野 歩今

1. はじめに 橋梁全体系の振動特性の変化に着目するグローバルモニタリングの観点から、2011 年夏に阪神高速道路三宝 JCT 出路橋の撤去工事に伴う試験車走行振動実験が実施された。対象橋梁(Fig.1)は特殊支持構造を有し、実測結果では 5Hz より高次の振動数でばらつきが大きく分析が困難であった。そこで本研究では、支持条件を考慮したモデルを作成し固有値解析結果と実測値を比較する。また、現地実験に倣って損傷状態を変化させて検討する。

2. 対象橋梁 対象橋梁は、橋長 62.135m、幅員 7m の鋼合成単純箱桁橋である。全体平面図を Fig.2 に示す。本線ラーメン橋脚 SP-6 と SP-8 に剛結された片持ち梁とゴム支承に支持された特殊な支持条件である。SP-8 側が 11.4° の斜橋となっており、縦断勾配のある緩やかな曲線桁である。



Fig.1 対象橋梁 外観

3. 現地実験分析結果 供用状態、舗装撤去状態、防音壁撤去・壁高欄損傷(支間中央にスリット)状態の 3 段階で状態変化させ試験車走行実験を行っている。Fig.3 に各損傷状態における L/4 点の鉛直方向加速度応答および自由振動 FFT 結果を示す。供用状態の鉛直振動(Fig.3(i))より、曲げ 1 次(1.56Hz)、ねじれ 1 次(5Hz 程度)と考えられる卓越が見られる。舗装撤去状態(Fig.3(ii))では曲げ 1 次が 1.66Hz となり、舗装撤去に伴う質量減少(舗装質量約 67tf、上部工質量の約 10%)によって振動数が約 6% 増加している。一方、舗装撤去状態と損傷状態を比較しても振動数の顕著な違いは見られない。5Hz、6.6Hz 程度のねじれ 1 次、曲げ 2 次と考えられるモードについては、データごとに振動数のばらつきが大きく、振動数の変化という観点での評価は困難である。ばらつきが大きいことについての原因として、対象橋梁の特殊な構造条件において本線の振動が支点から伝わったことが挙げられる。

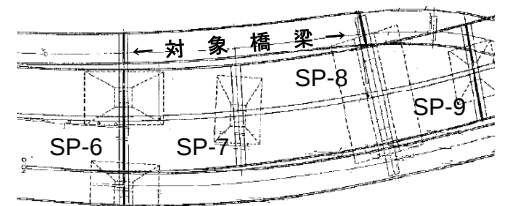
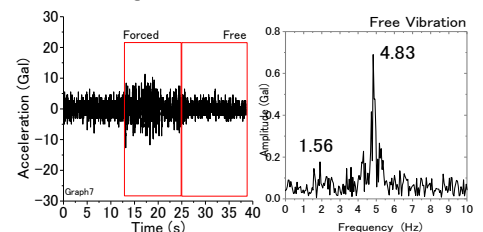
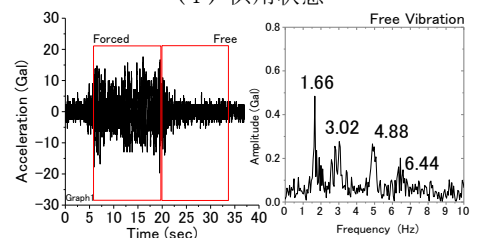


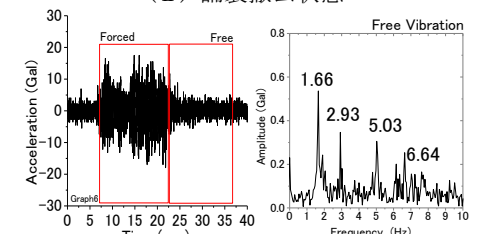
Fig.2 全体平面図



(i) 供用状態



(ii) 舗装撤去状態



(iii) 損傷状態

Fig.3 現地実測加速度応答

4. 橋梁解析モデル 4.1. 桁モデル Fig.4(a)に橋梁の桁の解析モデル(51 節点,70 要素,全て梁要素)を示す。直線橋で近似し、縦断勾配と斜橋部は考慮する。横桁位置に橋軸直角方向の部材要素を置く。箱桁部分は変断面を考慮し、高さ調整のため支点位置にオフセットビームを考慮し、下端に二重節点を置く。

4.2. 橋脚+片持ち梁+桁モデル Fig.4(b)に支持条件を考慮した解析モデル(110 節点,131 要素)を示す。上記の桁モデルに加え、SP-6 橋脚と SP-8 橋脚、さらにそれぞれの橋脚に剛結された片持ち梁については変断面を考慮している。本線とオンランプ側の桁はモデル化せず、ラーメン橋脚の梁部分に本線の死荷重のみを考慮し、SP-8 橋脚にはオンランプ方向にもう一つ剛結された片持ち梁を考慮して、その上にオンランプ桁の死荷重を付与する。

キーワード 橋梁ヘルスマニタリング, 現場実測, 損傷実験, 固有値解析

連絡先 〒657-8501 神戸市灘区六甲台町 1-1 神戸大学工学研究科 市民工学専攻 Phone 078-803-6278

4.3. 損傷状態を考慮した橋梁モデル

舗装撤去

状態の橋梁モデルは、供用状態の橋梁モデルから舗装分の質量(橋梁モデルの 9.29%)を引いたものである。実測は夏であり、舗装の剛性はほとんど影響しないと考え、剛性の低下は考慮していない。損傷状態の橋梁モデルは、Fig.4(c)に示す部分の要素の剛性が元の剛性の 10%減になったと仮定し、さら

に舗装撤去モデルから遮音壁の質量(舗装撤去状態の 1.47%)を引いている。

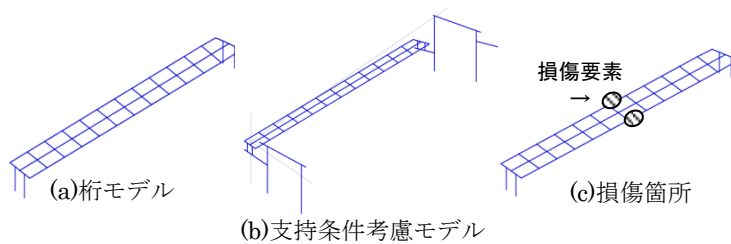


Fig.4 橋梁解析モデル

5. 固有値解析結果と考察 5.1. 供用状態桁モデルの固有値解析

10Hz 以下までの低次の固有値解析結果を Table 1(左欄)に示す。供用状態の桁モデルでは、1 次 (1.496Hz)が曲げ 1 次、3 次 (4.328Hz)が曲げ 2 次であると考えられる(Fig.5)。

(a) 1st mode 1.496Hz (b) 3rd mode 4.328Hz

Fig.5 桁モデル 振動モード

5.2. 供用状態支持条件考慮モデルの固有値解析

Table 1(右欄)に固有値解析結果

を、Table 2 に 20 次までの鉛直方向と橋軸直角方向の有効質量比を示す。3 次の鉛直方向の有効質量比の値が大きくなっていること、および Fig.6 に示すモード図から、支持条件考慮モデルでは Table 1 の 3 次(1.329Hz)が曲げ 1 次であると考えられる。



3rd mode 1.329Hz

Fig.6 支持条件考慮モデル 振動モード

5.3. 損傷状態を考慮した固有値解析

Table 1 に各損傷状態を考慮した固有値解析結果を併せて示す。舗装撤去

後では全体的に振動数の値が増加しており、桁のみのモデル、支持条件考慮モデルの両方で曲げ 1 次モード(それぞれ供用状態 3th 1.329Hz, 舗装撤去状態 3th 1.386Hz, 損傷状態 3th 1.401th)では 5%程度の振動数増加が見られる。これは舗装撤去に伴う質量低下の影響によるものと考えられる。また支持条件考慮モデルの舗装撤去状態と損傷状態を比較すると、全体的に振動数がわずかに増加しているにすぎず、壁高欄損傷による剛性低下の影響と遮音壁による質量現象の影響がほぼ同程度であり、損傷による振動数低下はほとんど検知できないという結果となった。

Table 1 各損傷状態固有値解析結果

mode	供用状態		舗装撤去状態		損傷状態	
	only girder	with pier	only girder	with pier	only girder	with pier
1	1.496	0.986	1.578	0.987	1.585	0.988
2	3.243	1.232	4.537	1.232	3.432	1.232
3	4.328	1.329	7.773	1.386	4.581	1.401
4	4.764	1.479	7.889	1.494	5.040	1.496
5	7.488	1.762	8.491	1.765	7.896	1.766
6	8.214	1.858		1.889	8.783	1.897
7		1.956		1.960		1.960
8		2.493		2.615		2.631
9		3.548		3.709		3.737
10		3.859		4.017		4.048
11		4.377		4.378		4.378
12		4.575		4.582		4.583
13		4.652		4.699		4.702
14		5.801		5.951		6.005
15		6.221		6.261		6.280
16		6.723		6.750		6.754
17		7.212		7.405		7.435
18		7.642		7.839		7.888
19		7.885		8.201		8.452
20		9.426		9.661		9.721

Table 2 供用状態有効質量比

mode	Transverse		Vertical	
	有効質量比	累積	有効質量比	累積
1	1.21	1.21	0.02	0.02
2	0.03	1.24	0.07	0.09
3	11.56	12.80	12.91	13.00
4	0.70	13.51	0.29	13.29
5	20.95	34.46	1.33	14.62
6	39.70	74.15	1.29	15.91
7	0.47	74.62	0.04	15.95
8	0.00	74.62	0.03	15.98
9	1.62	76.24	0.65	16.63
10	1.23	77.47	0.12	16.75
11	3.76	81.23	7.06	23.80
12	0.02	81.25	0.00	23.81
13	0.00	81.25	0.11	23.91
14	3.30	84.55	9.93	33.85
15	0.37	84.92	0.77	34.61
16	0.09	85.01	19.31	53.92
17	0.13	85.15	1.61	55.53
18	0.00	85.15	0.00	55.53
19	0.05	85.19	0.18	55.70
20	0.42	85.61	2.53	58.23

参考文献

- 1) 川谷充郎,金哲佑,土井宏政,山野歩今: 三方向成分に着目した道路橋交通振動モニタリングの検討, 土木学会全国大会第 67 回年次学術講演会, I-500, 2012.9.
- 2) K.C. Chang and C.W. Kim : Identifying dynamic characteristics of a short-span viaduct from vehicle-induced vibrations Considering Different Pavement and Parapet Conditions, Key Engineering Materials Vols.569-570, pp.197-174, 2013.

謝辞

本研究は、土木学会 関西支部「橋梁の維持管理へのモニタリング技術の適用に関する調査研究委員会」活動の一環として実施した。高速道路出路桁撤去作業中に現地計測の機会を提供頂いた阪神高速道路関係各位ならびに調査研究委員会委員各位に感謝致します。