

第 I 部門 特殊支持条件を有する都市高速道路出路橋における交通振動モニタリング

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。特に、実測値では鉛直方向と同程度で橋軸直角方向にも卓越振動数が見られたことから、道路橋に関する既往研究では着目されていない橋軸直角方向の卓越振動数のモニタリングへの適用性について検討する。



Fig.1 対象橋梁 外観

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。

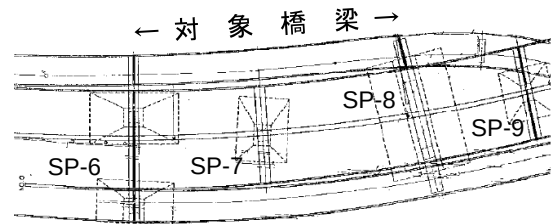
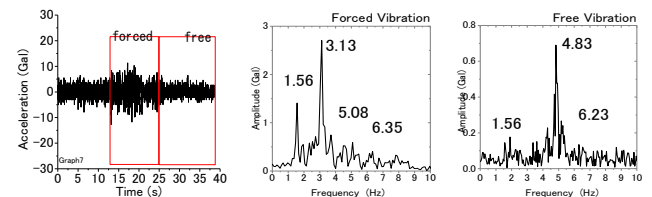
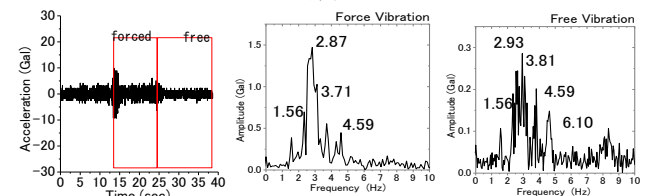


Fig.2 全体平面図

3. 現地実験分析結果 供用状態、舗装撤去状態、防音壁撤去・壁高欄損傷状態の 3 段階で状態を変化させ試験車走行実験を行っている。なお、車両後軸ばね上の振動数は 2.84Hz である。Fig.3(a)~(c)に供用状態の鉛直、水平各方向の L/4 点の実測結果から得た加速度応答、強制振動および自由振動 FFT 結果を示す。鉛直振動より、曲げ 1 次(1.56Hz)、車両(3Hz 程度)、ねじれ 1 次(5Hz 程度)、曲げ 2 次(6.3Hz 程度)と考えられる卓越が見られる。一方水平振動において、鉛直振動で見られた卓越振動数と同程度の振動数が見られる。Fig.3(d)に示すウェーブレット変換結果から、FFT で検出できた橋梁の固有振動数と同程度の数値の卓越振動数は、車両の走行位置に因らず定常的に表れていることが見て取れる。また、鉛直振動では曲げ 1 次(1.56Hz)付近に複数の振動数卓越が見られるが、水平方向では 1.6Hz 付近の卓越は明確に表れていることがわかる。



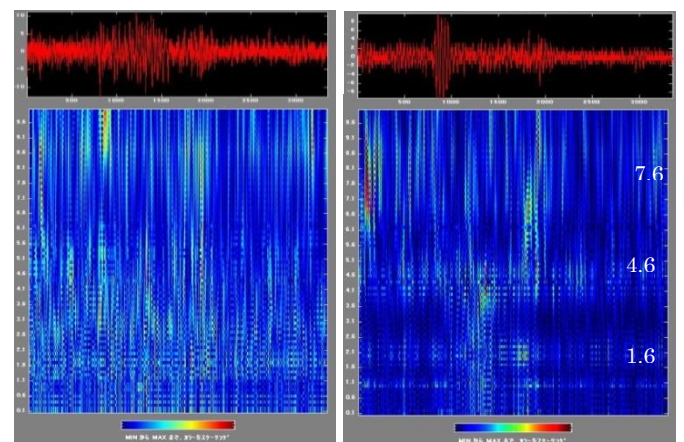
(i) 鉛直方向



(ii) 水平(橋軸直角)方向

(a)加速度時系列 (b)強制振動 FFT (c)自由振動 FFT

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。



(i)鉛直方向 (ii) 水平(橋軸直角)方向

(d) 連続ウェーブレット変換結果

Fig.3 供用状態実測結果 (L/4 点)

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。

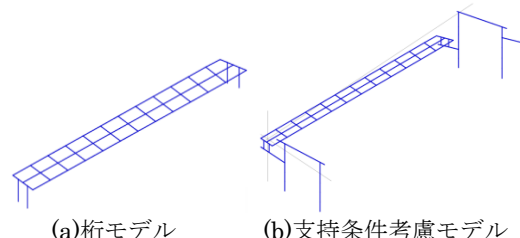


Fig.4 橋梁解析モデル

5. 固有値解析結果と考察 **5.1. 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。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)。

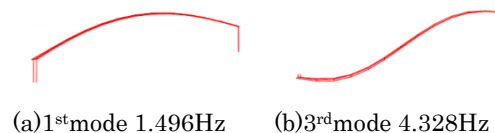
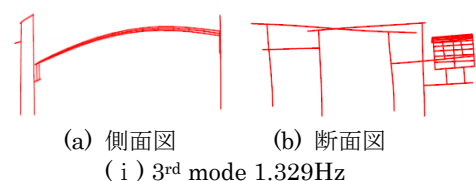
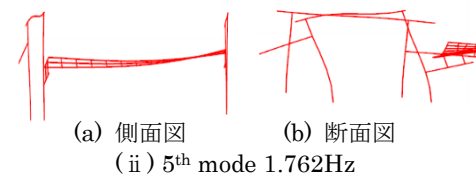


Fig.5 桁モデル 振動モード

5.2. 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(i)(a)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。



5.3. 水平振動の卓越に関する考察 Fig. 3 に示す L/4 点の鉛直・橋軸直角方向の両実測データの卓越振動数について, 水平方向における鉛直方向と同程度の数値を示す振動数の卓越の原因を考察する。Table 2 において, 3, 5, 6 次の橋軸直角方向の有効質量比に高い値が表れており, Fig.6(i)-(iii)の断面方向から見たモード図で桁が水平振動している。特に 5, 6 次のモード図からは, 橋脚が水平振動するに伴い対象桁も水平振動する様子が見られる。以上の結果から, 実測値の水平振動に見られる鉛直方向卓越に近い振動数は, 本線ラーメン橋脚や片持ち梁を含んだ特殊な支持構造の影響が桁の振動に表れ, 構造全体が水平振動していると考えられる。



6. 結論 本研究では, 橋梁の支持条件の特殊性を考慮した固有値解析および水平振動の橋梁ヘルスマモニタリングの適用性検討を行った。固有値解析結果から, 対象橋梁の曲げ 1 次モードと同じ数値の振動数で水平方向にも振動していることが示せた。また実測結果より, 対象橋梁のような本線橋脚に剛結された片持ち梁に支点を有する入出路橋の場合, 水平振動に着目する橋梁振動ヘルスマモニタリングも可能であると考えられる。

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。

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.

Table 1 固有値解析結果

mode	only girder	with pier
1	1.496	0.986
2	3.243	1.232
3	4.328	1.329
4	4.764	1.479
5	7.488	1.762
6	8.214	1.858
7		1.956
8		2.493
9		3.548
10		3.859
11		4.377
12		4.575
13		4.652
14		5.801
15		6.221
16		6.723
17		7.212
18		7.642
19		7.885
20		9.426

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