

走行列車荷重作用下における RC ラーメン高架橋の部材振動特性の同定

大阪大学大学院	学生員	○松岡 弘大
大阪大学大学院	正会員	貝戸 清之
財団法人鉄道総合技術研究所	正会員	渡辺 勉
財団法人鉄道総合技術研究所	正会員	曾我部正道

1. はじめに

鉄道車両は、継続的に速度向上を果たしている。しかしながら、実際の営業線における走行速度が必ずしも向上しているわけではない。その理由の一つとして、近年厳しくなりつつある環境基準があげられる。特に騒音や地盤振動といった使用性の問題を解決するために、レールや車両のみならず、高架橋などの鉄道構造物に対しても、対策を実施することが必要とされている¹⁾。このような使用性に関する振動問題を解決するためには、実働状態における鉄道高架橋の部材単位での振動性状を把握する必要があるが、そのような計測はほとんど実施されていないのが現状である。

以上の問題意識のもと、本研究では、一般的な高速鉄道橋である RC ラーメン高架橋のスラブ部材を対象として、実橋における列車走行試験に基づいて、高速走行時の振動特性の同定を部材レベルで実施し、今後の対策に不可欠な実働状態における部材振動特性を明らかにするとともに、列車の走行速度と卓越する振動モードについて検討した。

2. 対象橋梁と列車走行試験

対象橋梁の概要を図-1 に示す。当該橋梁は 3 径間連続 RC ラーメン形式の複線橋（全長 25m、高さ 11.6m）であり、本研究では、中央径間の中間スラブを計測対象とする。図-2 には中間スラブに着目した計測点の配置を示す。図-2 に示すように、対象部材に対して、圧電型加速度計を 22 点配置するとともに、振幅や周波数特性を比較するために、他部材にも同様の加速度計を 5 点配置した。当該橋梁は高速鉄道路線に建設されており、橋上を通過する列車は、速度が約 140、および 260km/h の 2 種類となっている。

中間スラブを対象とした計測においては、8 本の列車走行時の加速度応答を収録した。計測した各列車走行時の加速度応答に基づき、中間スラブの振動特性（固有振動数、振動モード形）の同定を実施した。加速度応答の多点計測システム、および同定手法として用いたクロススペクトル法については、文献2) を参照されたい。

3. 中間スラブの振動特性

列車走行時の加速度応答を用いて、同定した中間スラブの振動特性を表-1 に示す。ここでは例として、同定した全 10 モードのうち、モード 5 とモード 8 を記載している。表中には図-2 の中間スラブ (a-b-c-d) の振動モード形を等高線図で示すとともに、径間中央断面の振動モード形を張出しスラブを含めて示している。

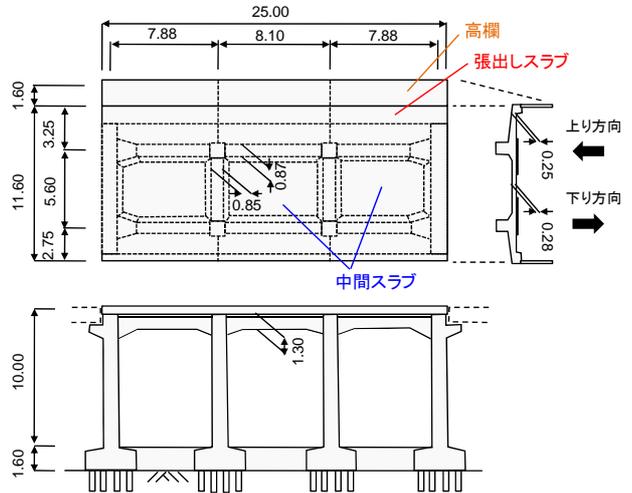


図-1 対象橋梁の概要

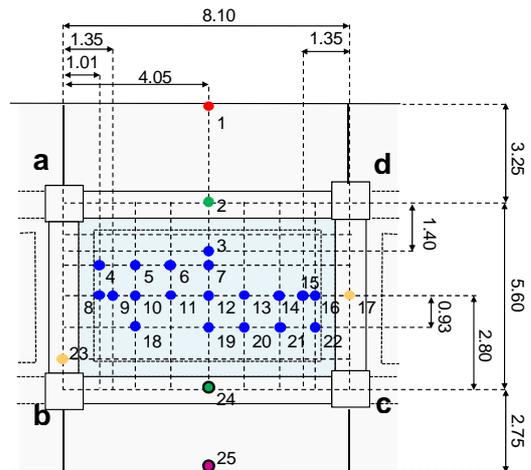


図-2 中間スラブに着目した計測点配置

キーワード 部材振動, 振動特性の同定, 走行列車荷重, 高速鉄道, RC ラーメン高架橋

連絡先 〒565-0871 吹田市山田丘 2-1 大阪大学大学院工学研究科地球総合工学専攻 TEL: 06-6879-7599

表-1 同定した振動特性の例 (中間スラブ)

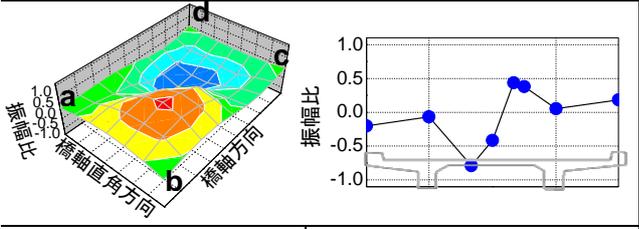
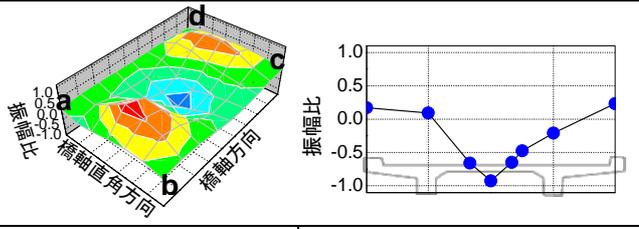
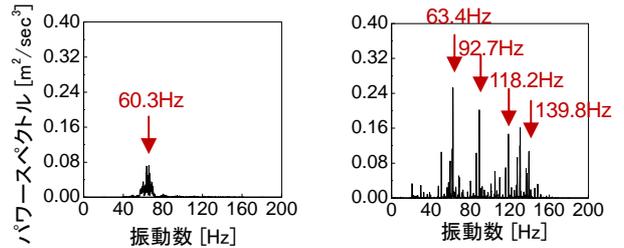
			
等高線図	橋軸直角方向	等高線図	橋軸直角方向
モード5: 中間スラブ対角2次		モード8: 中間スラブ3次	
固有振動数: 60.6Hz		固有振動数: 93.7Hz	

表-1 に示すように、中間スラブと他部材のモード振幅の相対的な関係から、両モードともに、中間スラブのモード振幅が局所的に卓越した部材振動モードであることがわかる。また、モード5 (固有振動数 60.6Hz) では、中間スラブの対角線を節として2次を示すモードが、モード8 (固有振動数 93.7Hz) では橋軸方向に3次を示すモードが同定されている。なお、本稿では記載を省略するが、40Hz以下の比較的低次においては、中間スラブではなく、全体モードとともに、張出しスラブが単独で振動する部材振動モードを確認することができた。このように、ある特定の部材に対して、計測点を密に配置し、高周波数成分まで同定範囲を拡大することで、部材レベルの局所的な振動モードを同定することが可能である。



(a) 列車速度 146km/h (b) 列車速度 266km/h

図-3 列車通過時のパワースペクトル

4. 走行列車加振時における卓越モード

列車走行時の加速度応答から全 10 モードを同定することが可能であったが、これらの振動モードと列車走行時の卓越振動成分の関係について確認する。図-3 には、代表的な2種類の速度 (146, 266km/h) の列車が、当該橋梁を走行した際のパワースペクトルを示している。図-3 (a) から、列車の走行速度が比較的低速である 146km/h の列車が通過した際に、60Hz 付近に唯一の卓越成分を確認できる。これに対して、266km/h と高速で走行した図-3 (b) では、60Hz 付近の他にも、90Hz, 120Hz, 140Hz 付近などに主要な卓越成分を確認できるとともに、卓越振動成分のパワースペクトルが大きな値を示している。また、いずれの走行速度においても 40Hz 以下の低周波数領域においては大きな卓越成分を確認できない。先の同定結果と比較すると、両速度において卓越成分が励起されている 60Hz 付近に関しては、モード5 が寄与していると考えられる。また、266km/h における 90Hz 付近の卓越成分にはモード8 が寄与していると考えられる。この他にも、120Hz 付近の卓越成分には橋軸方向に4次を示すモードが寄与しているなどの結果を得ている。構造物音を考える際には、音源となる部材の振動速度と構造物音レベルが直接関係しているために、通常の安全性に関する検討においては問題とならない高次の卓越振動数についても十分に検討する必要がある。

5. まとめ

本研究では、RC ラーメン高架橋の中間スラブの局所的な振動特性を同定するとともに、列車走行時においても部材振動モードに起因する卓越振動成分が励起されていることを明らかにした。なお、本稿では、使用性に関する振動問題 (主に構造物音) との関係に着目しているが、この他にも、部材振動特性を把握することで、振動モニタリングにおける劣化や損傷などの検出感度を相対的に向上させることも可能であると考えられる。

参考文献

- 1) 北川敏樹: 鉄道騒音の特性と防止策, 日本音響学会誌, Vol. 64, No. 10, pp. 629-634, 2008.
- 2) 松岡弘大, 貝戸清之, 杉崎光一, 渡辺勉, 曾我部正道: 走行列車荷重を利用した振動モニタリングによる開床式橋梁の振動特性の同定, 応用力学論文集, 土木学会, Vol.12, pp. 983-994, 2009.