

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

成熟化社会を迎える我国の鉄道インフラでは、安心や安全、利便性といった因子が、経済活動や生活行動に大きな影響を及ぼす。利便性に関して言えば、より高速で、快適な鉄道インフラの構築が期待されている。このような背景のもと、鉄道における列車車両は、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挙げられる。特に騒音や地盤振動と言った使用性における問題を解決するため、高架橋などの鉄道構造物の面からも、対策を実施することが必要とされる²⁾。

このような問題意識のもと、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、高速走行時の実働状態における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部材振動特性を明らかにする。本研究では列車荷重の影響を含んだ振動特性を、等価振動特性と呼び、橋梁単独の振動特性と区別する。

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）であり、本研究においては、中央径間の中間スラブを対象とする。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、計測点を 20 点程度の配置するとともに、振幅や周波数特性を比較するため、他部材にも 5 点程度配置した。当該橋梁を通過する列車は、140、および 260km/h 程度の 2 種類であり、中間スラブに対して 8 本程度の列車走行時の加速度応答を計測した。また、計測した列車走行時の加速度応答に基づき、等価振動特性（等価固有振動数、等価振動モード形）の同定した。加速度の多点計測システム、および同定手法については、文献 1) を参照されたい。

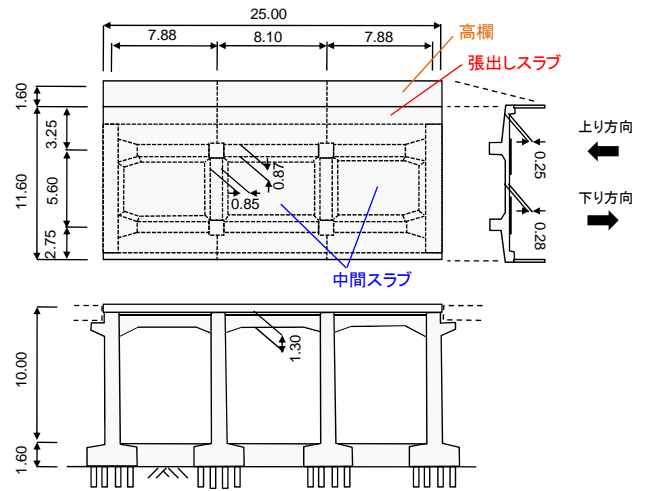


図-1 対象橋梁の概要

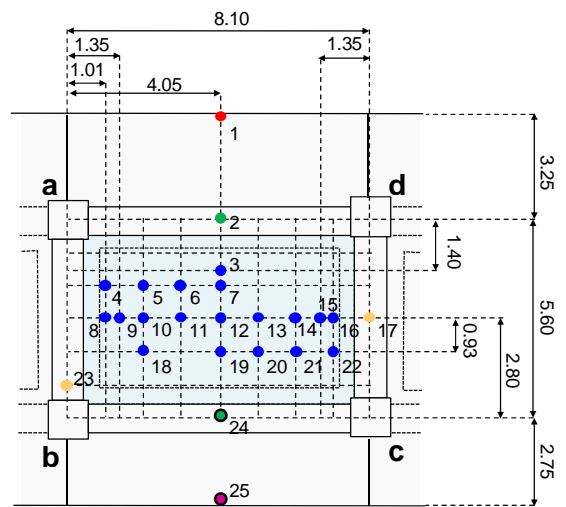
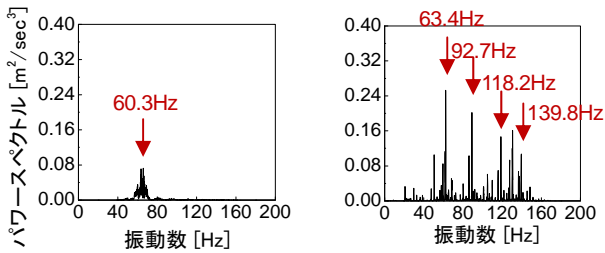
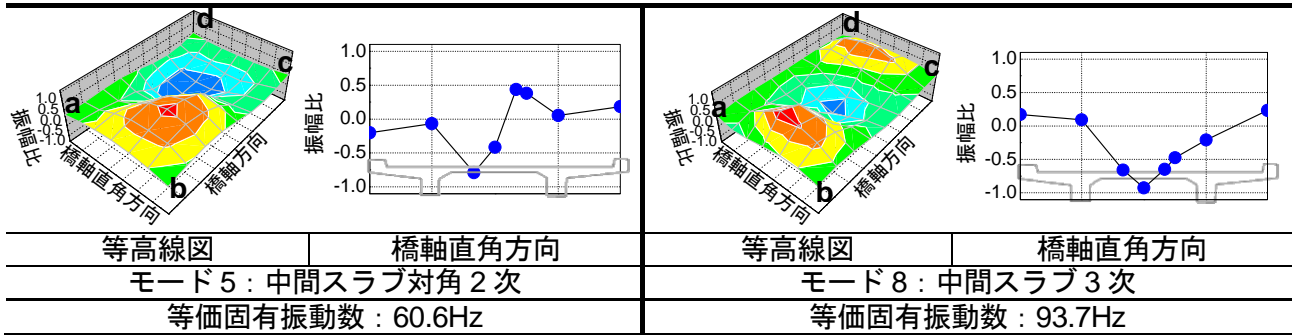


図-2 中間スラブに着目した計測点の配置

3. 中間スラブの等価振動特性

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等価振動特性を表-3 に示す。ここでは例として、全 10 モード同定したうちのモード 5、モード 7 を記載している。表中には図-2 の中間スラブ (a-b-c-d) の等価振動モード形を等高線図で示すとともに、径間中央断面の等価振動モード形を張出しスラブを含めて示している。

表-3 同定した等価振動特性の例（中間スラブ）



(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

表-3 に示すように、両モードにおける中間スラブと他部材の関係から、中間スラブのモード振幅が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（等価固有振動数 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（等価固有振動数 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、ここでは省略したが、40Hz 程度以下の比較的低次においては、中間スラブのみでなく、縦桁や張出しスラブでも大きなモード振幅を有していた。このように、ある部材に密に計測点を配置し、高周波数成分まで着目範囲を拡大することで、部材レベルでの局所的な振動モードを同定可能であることがわかる。

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見てみる。図-2 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-2 (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-2 (b) では、60Hz 付近の他にも、90Hz 付近、120Hz 付近、140Hz 付近などに主要な卓越成分を確認できる。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 付近においては、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。騒音においては、音源となる部材の振動速度と、騒音レベルが直接関係しているため、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重要な指標となる。また、一般的に、騒音レベルは列車の走行速度と 3 乗以上の関係にあるため、今後の高速化に際した、顕在化が危惧される²⁾。特に、本橋のようにスペクトル性状に速度依存性が見られる場合は、詳細な検討が必要であると考えられる。本研究では、このような卓越成分に対して、RC ラーメン高架橋における中間スラブの固有振動が寄与していることを示している。当該橋梁においては、中間スラブの他に、張出しスラブ、高欄など、騒音の音源となりうる板部材に着目し、列車走行時に基づく部材振動特性の同定を行っている。

本稿では、使用性に関する振動問題（主に騒音）との関係に着目しているが、この他にも、部材レベルの局所的な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) 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.
- 2) 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.