

軌道状態の違いが鉄道 RC 桁式高架橋の部材振動に及ぼす影響

鉄道総研 正会員 渡辺 勉 鉄道総研 正会員 曾我部 正道 鉄道総研 正会員 徳永 宗正

1.目的 近年、列車速度が飛躍的に向上したことにより、RC 高架橋においても構造物音の発生が懸念されるようになってきた。筆者らは構造物音のシミュレーションモデルとして有限要素法による振動解析と境界要素法による音響解析のカップリングにより解析することを予定している。これまでに筆者らは、振動解析において車両/軌道/構造物からなる大規模かつ複雑な連成問題を効率的に解析するために、車両/軌道と軌道/構造物の2つの系に分割する手法を新たに提案した¹⁾。本研究では同手法を用いて、RC 桁式高架橋の200Hz までの振動を対象とした現象解明を行い、軌道状態の違いが部材振動に及ぼす影響について検討を行ったので報告する。

2.解析手法 図1に解析モデルの概要を、表1に各部材の材料定数を示す。解析対象構造物は、桁高 1.85m、スパン 20m の新幹線の標準的な2主桁単線並列形式のRC 桁式高架橋で、3スパン分をモデル化した。本研究では、同一構造の桁で軌道パッドのばね定数のみが異なる2橋(A橋 60MN/m、B橋 30MN/m)を対象とした。応答評価は、構造物音の音源となりやすい部材である中間スラブ及び張出スラブとした。構造物の各部材は図1に示す要素を用いて有限要素法でモデル化した。なお、これまでの検討から地盤をモデル化しても構造物音に寄与する周波数帯(概ね20Hz以上)における各部材の応答に与える影響が小さいことを確認した上で、橋脚下端は固定とした。解析メッシュ刻みはレール締結間隔 0.625m の1/4とした。

図2に車両の力学モデルを示す。車体、台車及び輪軸を剛体と仮定し、それらをばねとダンパでリンクした三次元力学モデルで、1車両あたり31自由度を有する。列車は、車両モデルを車端に設けたばねとダンパで連結して構成する。本研究では、車両長 25m、輪重 60kN 程度の一般的な新幹線車両6両とした。速度は 270km/h である。車輪とレール間の動的相互作用力については、鉛直方向の接触力は Hertz の接触ばねで、水平方向の接触力は車輪フランジとレールが接触するまではクリープ力で、接触後はレールの小返りばねで表現した。

図3に解析に用いたレール凹凸の凹凸量と空間周波数ごとの凹凸分布を示す。実際のラーメン高架橋上で長さ 1m の測定機を用いて測定したレール凹凸に、別途測定した 10m 分の軌道変位を加えたものである。数値解析はモーダル法で行った。車両及び構造物に関する運動方程式をモーダル変換し、モーダル座標系での運動方程式を、Newmark の平均加速度法により時間増分 Δt 単位に解いていく。考慮したモード次数は 400Hz 程度までの振動を再現できるものとし、減衰定数 ζ は全モードで 2%とした。

表2に解析ケースを示す。A橋及びB橋を対象とした解析を基本ケースとした。CASE A-2では、レール凹凸の有無の影響を検討するために、図3で示したレール凹凸を与えないケースで解析を行った。CASE A-3では、軌道パッドのばね定数の影響を検討するために、60MN/m を 30MN/m 及び 20MN/m に変更して解析を行った。CASE A-4では、レール締結間隔の影響を検討するために、レールを連続支持したモデルで解析を行った。

3.解析結果 図4に固有値解析により得られた振動モード形を示す。実測により求めた固有振動数も併せて記載した²⁾。実測と解析で概ね一致していることがわかる。なお、実測では、構造物の部材に加速度計をアレイ配置して計測した加速度応答に対してクロススペクトル法と MAC 検定によりモード形

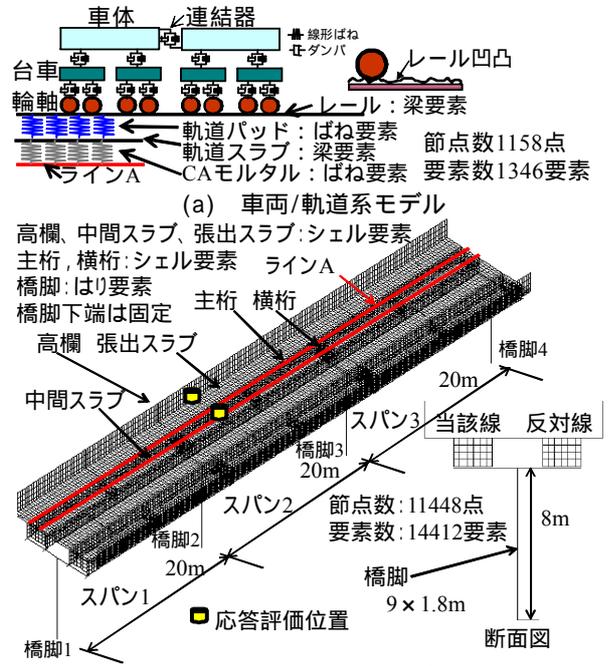


図1 解析モデルの概要

表1 各要素の材料定数

レール種別	材料定数
レール種別	60kg レール
軌道パッド公称ばね定数(MN/m) (静的ばね定数)	60 (A橋)
	30 (B橋)
軌道スラブ	長さ×幅×高さ(mm)
	4930×2340×190
CA モルタル	ヤング係数(kN/mm ²)
	3.5
高架橋 コンクリート	厚さ(mm)
	25
減衰定数(%) (全てのモードで一律の値)	2%

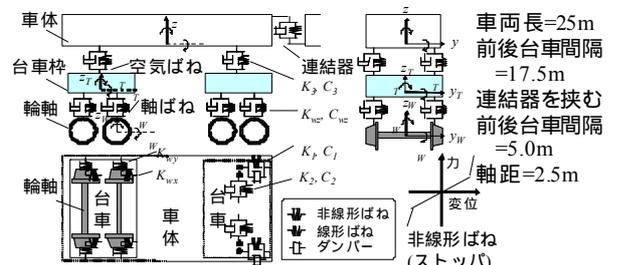


図2 車両の力学モデル (1車両 25m)

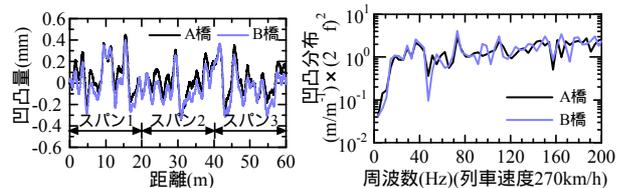


図3 解析用いたレール凹凸

表2 解析ケース

CASE	パラメータ	備考
A	-	基本ケース、A橋(60MN/m)
B	-	基本ケース、B橋(30MN/m)
A-2	レール凹凸	凹凸有り→凹凸無し
A-3	レール締結間隔	連続支持
A-4.1	軌道パッド	60MN/m→30MN/m
A-4.2	ばね定数	60MN/m→20MN/m

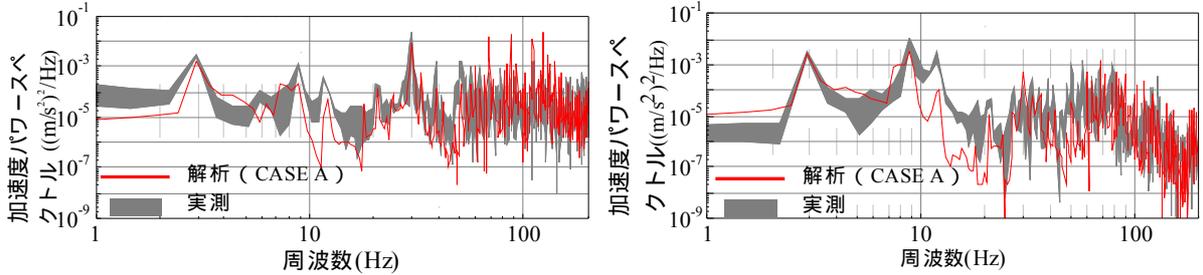
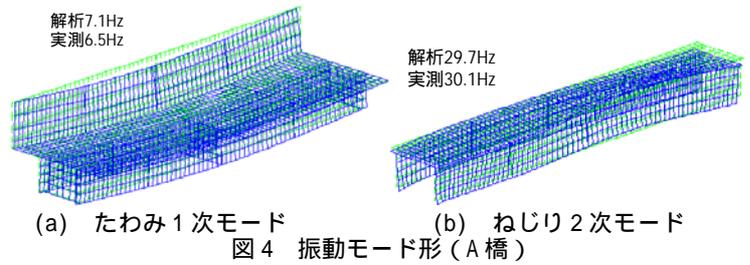


図5 A橋における鉛直加速度に関する周波数応答特性の実測と解析の比較

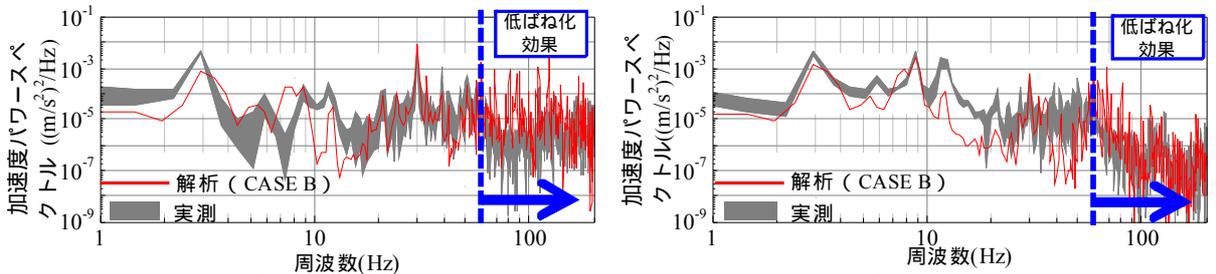


図6 B橋における鉛直加速度に関する周波数応答特性の実測と解析の比較

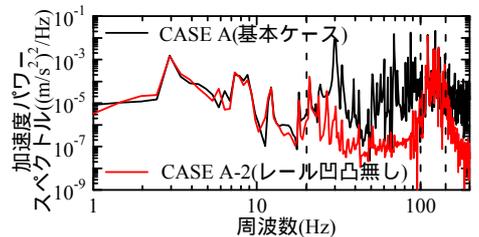
状を同定した。

図5及び図6に加速度パワースペクトルに関する実測と解析の比較を示す。評価点は図1に示す中間スラブと張出スラブである。実測は圧電型加速度計を用いた。データ収録はサンプリング周波数2kHzでプリアンプ及びADボードを介してノートPCに収録した。両部材とも解析結果は概ね実測のばらつきの範囲内に収まっていることがわかる。A橋とB橋の結果を比較すると、低ばね定数の軌道パッドが敷設されているB橋の方が60Hz以上の周波数帯で応答が1/10程度に低減されており、レールの低ばね支持化による振動低減効果を実測において確認した。

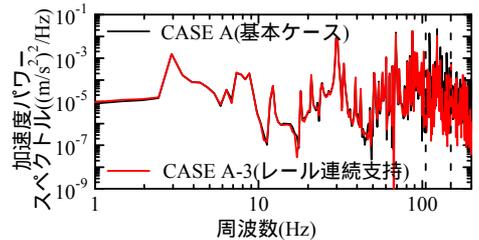
図7に各種パラメータが中間スラブの鉛直加速度応答に及ぼす影響を示す。図7(a)では、レール凹凸の有無の影響を示した。概ね20Hzより高い周波数帯では、基本ケースに比べて応答が低減されていることがわかる。一方、100~140Hz程度の周波数帯では、レール凹凸の有無に関わらず応答がほぼ同程度であることがわかる。これは、列車速度270km/hで走行するばね下輪軸質量がレール締結間隔0.625mごとに受ける反作用による加振周波数が120Hz(=(270/3.6)/0.625)であることに起因すると考えられる。ここで、図7(b)をみると、レールを連続支持にしたことにより、上記の120Hzの加振の影響が無くなり、100~140Hzの周波数帯で応答が小さくなるのがわかる。図7(c)では、軌道パッドの低ばね定数化の影響を示した。低ばね化により概ね60Hz以上の周波数帯で応答が低減され、前述したA橋とB橋の実測から得られた傾向とほぼ同じであった。

4.まとめ RC桁式高架橋を対象とした解析モデルを構築し、実現象を概ね再現した。軌道パッドの低ばね定数化することにより、概ね60Hz以上の周波数帯で部材振動が低減されることを実測と解析でそれぞれ確認した。部材振動について、レール凹凸及びレール締結間隔が影響を及ぼす周波数帯を明らかにした。

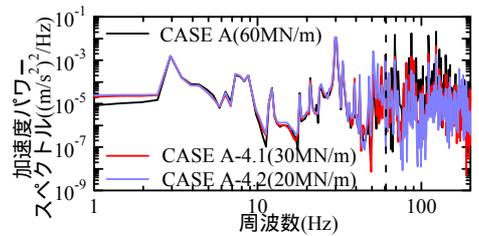
- 参考文献**
- 1) 渡辺他：車両/軌道/構造物の各種パラメータが鉄道RCラーメン高架橋の部材振動特性に及ぼす影響に関する数値解析的検討、土木学会論文集A2(応用力学)、Vol.69、No.2(応用力学論文集Vol.16)、pp.I_821-I_832、2013.9
 - 2) 松岡他：走行列車荷重を利用したRC鉄道高架橋の部材振動の同定と動的挙動の把握、土木学会論文集、Vol.67、No.3、pp.545-564、2011



(a) レール凹凸の有無の影響



(b) レール締結間隔の影響



(c) 軌道パッドのばね定数の影響

図7 各種パラメータが中間スラブの鉛直加速度応答に及ぼす影響