

鉄道 RC ラーメン高架橋の構造物音評価に関する数値解析による検討

鉄道総研 ○渡辺 勉 鉄道総研 曾我部 正道
 鉄道総研 後藤 恵一 鉄道総研 浅沼 潔

1. はじめに 近年、列車速度が飛躍的に向上したことにより、騒音が小さいと考えられていた RC 高架橋においても、部材の動的応答の増大に伴う構造物音の発生が懸念されるようになってきた。構造物音を数値解析により予測しようとする場合、音源部材の振動速度を算出し、境界要素法等により音の伝搬を解いていく手法が用いられるが、特に前者の振動速度の算出精度が構造物音の予測において非常に重要となる。以上のような背景から、本研究では構造物音の原因となる RC 高架橋の 200Hz 程度までの振動¹⁾を対象とした数値解析モデルを構築し、構造物の応答を再現した。また、各種パラメータが各部材の応答に与える影響について解析的な検討を行ったので報告する。

2. 解析手法 数値解析には、鉄道車両と構造物の動的相互作用解析プログラム DIASTARSIII を用いた。図 1 に車両の解析モデルを示す。車両の力学モデルは、車体、台車、輪軸の各構成要素を剛体質点とし、これらをばね及びダンパで結合したもので、1 車両あたり 31 自由度を有する。列車は、この車両の端部に設けたばねとダンパで連結して構成した。本解析では、車両長 25m の一般的な新幹線車両とし、列車速度は 270km/h とした。

図 2 に全長 25m の 3 径間 RC ラーメン高架橋の有限要素法による解析モデルを示す。径間は 7.9m+8.0m+7.9m、柱断面は 1.1m×1.1m、柱高さは 10.0m、柱中心間隔は 5.6m、中間スラブの厚さは 0.28m、高欄は高さ 2m (直壁形) の RC ラーメン高架橋である。中間スラブ、張出スラブ、高欄、縦梁及び横梁はシェル要素で、レール及び柱ははり要素で、軌道パッドはばね要素でモデル化した。地中梁、地盤はモデル化していない。路盤コンクリート (厚さ 0.25m) は重量のみを考慮し、剛性は非考慮である。隣接する調整桁の重量は、端部の横梁の重量に付加した。調整桁と高架橋の境界条件は設けていない。解析メッシュ刻みは 0.4m 程度で、総節点数は 3318 点、総要素数は 3032 要素である。

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空間周波数ごとの凹凸分布を示す。これは、実ラーメン高架橋で測定されたレール凹凸を基に設定した。

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 1200 次 (400Hz 程度) とし、減衰定数 ξ はすべてのモードで 2% とした。

表 1 に解析ケースを示す。同図に示すように、CASE1 は構造物の設計ベースの定数とした基本ケース、CASE2 は高欄重量を 3 倍 (逆 L 形高欄を想定) にしたケース、CASE3 は路盤コンクリート全断面の剛性を中間スラブに付加したケース、CASE4 及び CASE5 は減衰定数を 1% 及び 5% にしたケースである。

3. 解析結果 3.1 基本ケース 図 4 にラーメン高架橋の各部材の実測と数値解析の応答加速度に関する周波数分析結果を示す。対象部材は、振動しやすい板状の部材で構造物音の音源となる、中間スラブ、張出スラブ及び高欄とした。着目点は図 2 に示す位置で中央径間のスパン中央とした。周波数分析は、列車通過時の 2 秒間の時刻歴データを切り出

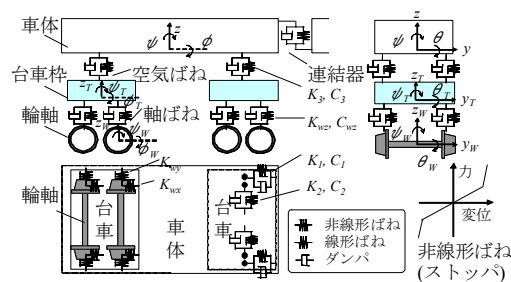


図 1 車両の力学モデル

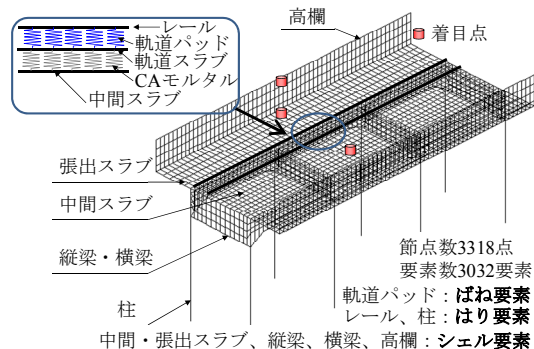


図 2 ラーメン高架橋の解析モデル

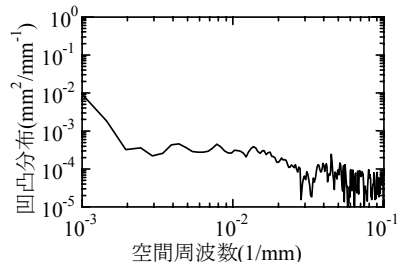


図 3 当該ラーメン高架橋におけるレール凹凸分布

表 1 解析ケース

CASE	高欄重量 (kN/m)	路盤コンクリ ートの剛性	減衰定数 (%)
1	10	非考慮	2
2	30	非考慮	2
3	10	考慮	2
4	10	非考慮	1
5	10	非考慮	5

キーワード 鉄道, RC ラーメン高架橋, 構造物音, 動的相互作用解析, 高速化

連絡先 〒185-8540 東京都国分寺市光町 2-8-38 (財) 鉄道総合技術研究所 鉄道力学研究部 構造力学 TEL042-573-7290

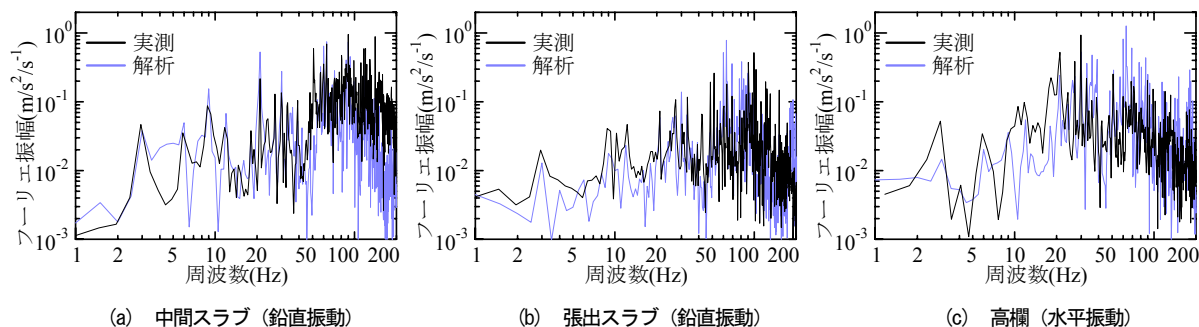


図4 各部材の実測と数値解析の応答加速度に関する周波数分析結果の比較 (CASE1, $\Delta f=0.5$, 窓関数: 矩形)

し, FFT ($\Delta f=0.5\text{Hz}$, 窓関数: 矩形)を行った. 加速度の実測値は, 高架橋に設置した圧電型加速度計 (リオン PV-85, $\Delta t=0.0005\text{sec}$) によって計測されたものである.

各部材の実測をみると, 列車速度 270km/h と車両長 25m に起因する加振周波数 3Hz ($3\text{Hz}=1/25/(270/3.6)$) の整数倍ごとにピークを生じていることがわかった. また, $20\text{Hz}\sim 50\text{Hz}$ では高欄の振動が, 60Hz 以上では中間スラブの振動が最も大きいことがわかった.

実測と数値解析を比較すると, 中間スラブでは, 解析により実測のピークを概ね再現できているが, 50Hz 以下では主要なピーク値が実測よりも解析の方が大きくなった. これは, 非構造部材や部材減衰定数の影響などが考えられる²⁾. 一方, 100Hz 以上では実測よりも解析の方が小さくなった. 張出スラブも同様に, 解析により実測のピークを再現できているが, $70\text{Hz}\sim 100\text{Hz}$ 付近で実測よりも解析の方が大きくなった. 高欄については, 列車速度と車両長に起因する 3Hz のピークが実測よりも解析の方が小さくなった. これは, レールにおいて水平方向の凹凸を考慮していないために, 解析上の車両に水平方向の動揺が発生していないことが原因であると考えられる. また, 30Hz 以上では実測に比べて解析の方が大きくなっているが, これは, 高欄の基部にあるダクトなどの非構造部材の影響であると考えられる.

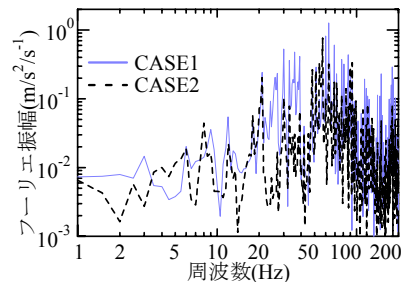
3.2 各種パラメータの影響 図5に高欄重量が高欄及び張出スラブの応答に与える影響を示す. CASE1 に比べて CASE2 では $20\sim 50\text{Hz}$ で最大 10 倍以上応答が小さくなった. また, 高欄においては, 加振に起因する 3Hz のピークが 2.5Hz 程度の低周波数側にシフトした.

図6に路盤コンクリートの剛性を付加したことによる中間スラブの応答に与える影響を示す. CASE1 に比べて CASE3 ではほぼ全周波数帯で応答が小さくなることがわかった. 定性的な評価ではあるが, 中間スラブの実際の挙動に対する路盤コンクリートの剛性の寄与率は小さいと考えられる.

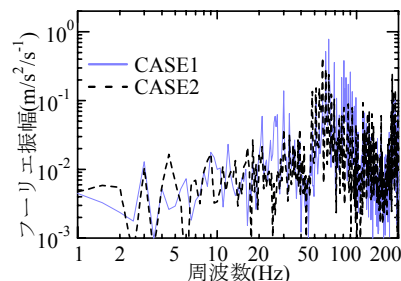
図7に減衰定数が中間スラブの応答に与える影響を示す. 20Hz 以下では 3 つのケースでほとんど差が見られず, 列車走行による動的な加振成分による影響が小さいことがわかった. また, 20Hz 以上では減衰定数が大きくなると応答が小さくなることがわかった. 例えば 22Hz のピークでは, CASE1 に比べて CASE4 で 1.1 倍, CASE5 で 0.6 倍となった.

4. まとめ ①RC ラーメン高架橋を対象とした数値解析モデルを構築し, 列車の加振周波数 3Hz に起因するピークなど, 概ね実現象を再現できることがわかった. ②高欄の重量が大きいほど, 高欄及び張出スラブの応答が小さくなることがわかった. ③中間スラブの実際の挙動において, 路盤コンクリートの剛性の寄与は小さいことがわかった. ④今回の解析条件においては, 中間スラブの 20Hz 以下の応答に対して, 減衰定数による応答の違いはほとんど見られず, 列車走行による動的な加振成分による影響が小さいことがわかった. 今後, これらの結果を踏まえて構造物音の予測を試みていく予定である.

参考文献 1) 善田他: 現場技術者と設計者のための実用騒音・振動制御ハンドブック, pp.686-692, エヌ・ティー・エス, 2000
2) 渡辺, 曾我部, 原田: 鉄道 RC ラーメン高架橋の動的応答性状に関する研究, 鉄道力学論文集, pp.77-84, 土木学会, 2009



(a) 高欄 (水平振動)



(b) 張出スラブ (鉛直振動)

図5 高欄重量が高欄及び張出スラブの応答に与える影響

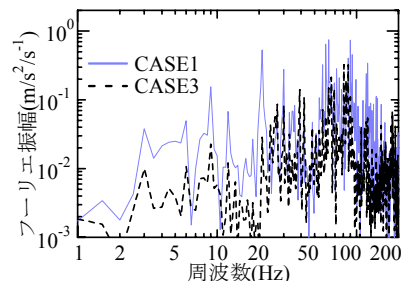


図6 路盤コンクリートの剛性が中間スラブの応答に与える影響

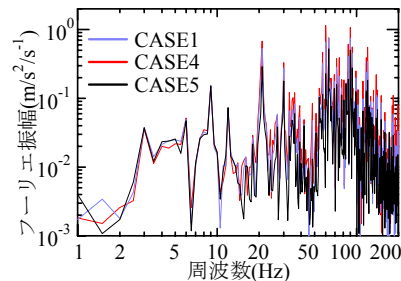


図7 減衰定数が中間スラブの応答に与える影響