

ラーメン高架橋区間における列車走行時の地盤振動シミュレーション

鉄道総合技術研究所 正会員 ○横山秀史
 構造計画研究所 正会員 三橋祐太

1. はじめに

近年、筆者らはラーメン高架橋区間を対象に車両の移動などの影響を考慮した地盤および建物振動の予測シミュレーション手法を検討してきた^{1),2)}。この検討では、剛な路盤上の走行車両・軌道系の連成振動解析で求めた加振力を土木構造物・地盤・建物の振動伝播解析に入力し、沿線の地盤や建物の振動を計算する方法を用いた。しかし、車両と土木構造物の間で共振を生じるケースなど、条件によっては加振力解析に対する構造物の振動特性の影響を無視できない場合があると考えられる。本報では、構造物を考慮した加振力解析と土木構造物・地盤の振動伝播解析を組合せた移動加振解析による鉄道振動の試算結果を述べる。

2. 解析モデルの概要

解析モデルを図1に示す。本報では、加振力解析には走行車両と構造物の連成振動解析プログラム DALIA(構造計画研究所)、振動伝播解析には SuperFLUSH/3D(同)を用いた。車両は標準的な新幹線車両で、解析モデルの制約により8両編成でモデル化した。また、高架橋モデルは高さ9.5m程度の2柱式ゲルバータイプの標準高架橋、軌道はスラブ軌道とした。締結間隔は0.625mで、軌道スラブの支持ばね等は締結直下に設定した。

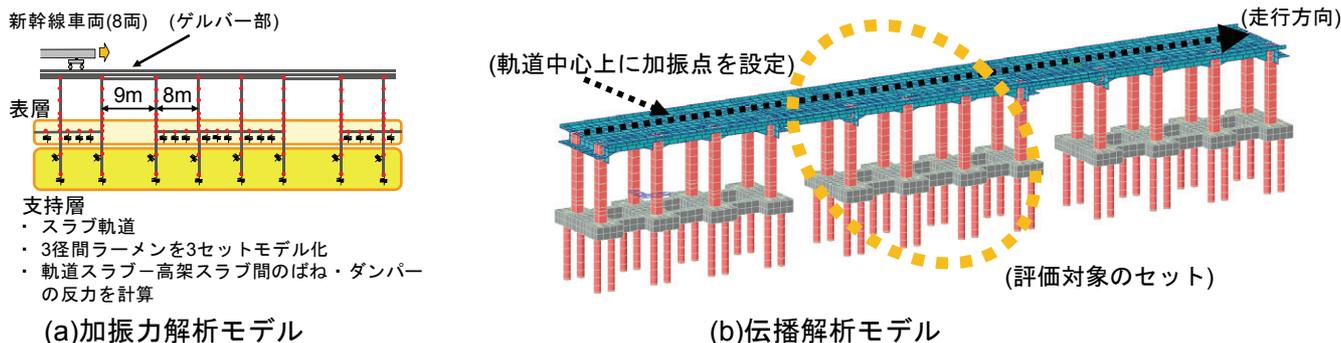


図1 解析モデル

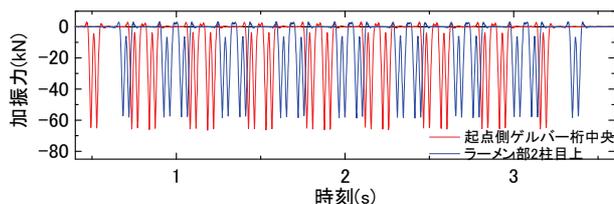


図2 加振力波形の計算例(260km/h)

加振力解析モデル(図1(a))は線路方向と鉛直方向に自由度を持つ2次元モデルとし、車両は剛な梁、質点とばね、ダンパーでモデル化した。また、軌道と構造物は所定の剛性および質量を持った梁をばねやダンパーで結合してモデル化した。地盤は基礎の支持ばねとしてモデル化し、フーチングおよび地中梁の支持ばねはS波速度(V_s) = 110 m/s、杭の支持ばねは V_s = 300 m/s の地盤に対応するばね値を設計標準等にもとづいて設定した。伝播解析モデル(図1(b))は、構造物のスラブおよび梁をシェル要素、柱および杭を梁要素、フーチングおよび地中梁をソリッド要素でモデル化した。地盤は加振力解析モデルに対応する地盤を、表層厚6mの2層の水平成層地盤として薄層要素でモデル化した。

鉄道振動のシミュレーションにあたっては、まず加振力解析モデルにより、軌道スラブ-高架スラブ間の各支持位置でのばねとダンパーの反力の和として各位置の加振力を求めた(図2)。今回のモデルの場合、速度260km/hのケースではゲルバー桁部の方がラーメン部よりも加振力の最大値が大きいなど、構造物の影響による加振力最大値の違いが見られた。得られた加振力を伝播解析モデルの軌道中心線上に設定した各加振点に入力し、構造物および地盤の振動を計算した。本報では鉛直方向の加振力のみを考慮し解析した。

キーワード 鉄道振動、数値シミュレーション、車両・軌道・構造物系連成解析
 連絡先 〒185-8540 東京都分寺市光町2-8-38 防災技術研究部 地質 TEL042-325-5698

3. 解析結果

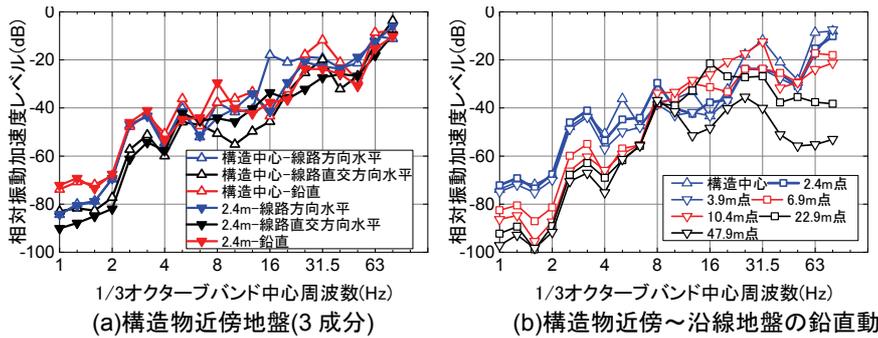


図3 解析結果の例(260km/h、起点側から2柱目の断面での周波数特性)
 ※距離は加振線からの線路直交方向水平距離

一方、今回の解析モデルと類似の構造でやや軟弱な地盤の箇所での実測結果(文献3のラーメン1測定点)をみると、3.15Hz前後のピークは3成分とも-40dB程度であった。また、8Hzのピークは鉛直動で-35dB程度、水平2成分は-45dB程度であるなど、線路方向水平動および鉛直動については解析結果と実測はほぼ同程度の大きさであった。一方、線路直交方向水平動では特に3.15Hz以下の周波数帯域で解析結果の方が顕著に小さい。原因としては、鉛直成分のみ軌道中心位置に入力したことによる影響や地盤の違いなどが考えられ、今後さらに検討が必要と考えている。

次に振動の伝播性状を検討するため、沿線の振動出力点での鉛直動を軌道中心から2.4m離れた位置の鉛直動で正規化した結果(図4(a))を、点加振解析(図4(b))および2次元有限要素法による解析(図4(c))の正規化スペクトルとあわせて示す。今回の解析では、いずれの加振方法でも16~20Hzにやや減衰が小さい帯域があるなど基本的な特徴は図4(a)~(c)である程度共通している。しかし、移動加振解析では他の解析よりも周波数帯域ごとの変動が大きいことや、点加振解析では他のケースよりも遠方で大きく減衰する傾向があることなど、加振方法により振動の低減量などが大きく異なることが確認できる。なお、地盤条件が異なるためピークの周波数や低減量の絶対値は異なるが、既報のラーメン1での実測結果³⁾と移動加振時の正規化スペクトルの定性的な傾向は類似しており、今回の解析結果は実際の鉄道振動の伝播の傾向をある程度反映していると考えられる。

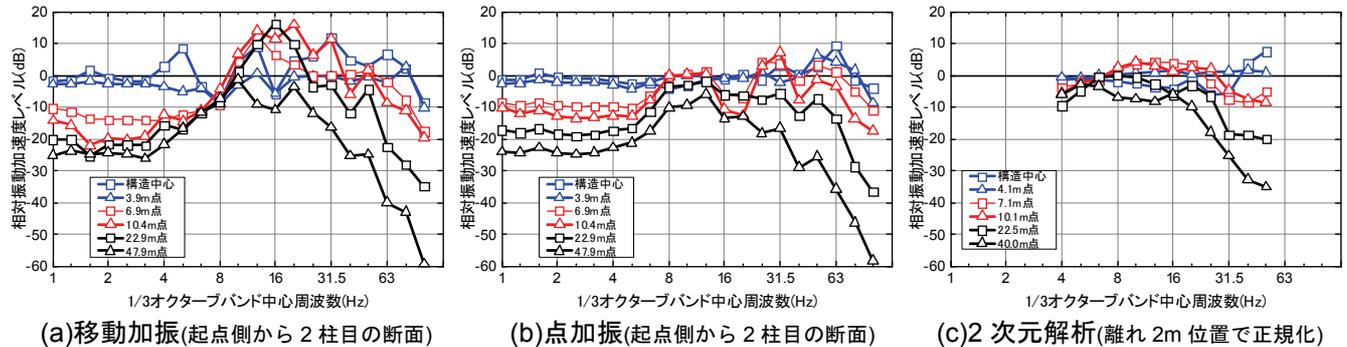


図4 解析結果の例(加振方法ごとの正規化スペクトルの比較。速度260km/h)

4. まとめ

新幹線の標準ラーメン高架橋を対象として、構造物を考慮した加振力解析と土木構造物・地盤の振動伝播解析の組合せによる鉄道振動の試算を行い、線路方向水平動および鉛直動については実測結果と近い結果が得られることを確認した。今後は、解析精度の向上を図るとともに、列車速度や地盤条件、振動遮断工等の有無などの条件の違いによる振動の発生・伝播性状への影響について検討を進めていきたいと考えている。

参考文献

- 1) 伊積康彦、横山秀史、上半文昭：高速鉄道の3次元振動解析に関する研究 その1 新幹線高架橋近傍地盤と建物での鉄道振動測定、2014年度建築学会大会学術講演梗概集、2014。
- 2) 三橋祐太、伊積康彦、横山秀史、渡辺勉、庄司正弘：高速鉄道の3次元振動解析に関する研究 その2 新幹線の3次元振動解析、2014年度建築学会大会学術講演梗概集、2014。
- 3) 横山秀史、八代和幸、蒲原章裕、岩田直泰：鉄道沿線地盤振動の水平動および鉛直動の伝播特性、鉄道総研報告、Vol.25、No.11、pp.35-40、2011。