

高速走行時の低周波帯域の地盤振動の現象解明

(公財)鉄道総合技術研究所 正会員 ○野寄 真徳
(公財)鉄道総合技術研究所 正会員 横山 秀史

1. はじめに

列車走行に伴う地盤振動（以下、鉄道振動という）は、一般的に 6.3～8Hz（低域）、16～25Hz（中域）、40～50Hz（高域）の 3 つにピークが見られるが¹⁾、列車速度が 300km/h を超えると低域よりもさらに低周波側の 4～5Hz 付近にピークが現れ、この帯域が主要帯域となる場合があることが報告されている²⁾。

速達性の向上のため、今後も高速鉄道の最高速度は向上することが考えられる。したがって、高速度域に対応した予測手法や対策工の提案を行う上で、列車高速走行時の鉄道振動の現象解明が重要である。本報では、列車速度が 300km/h を超える状況で 4～5Hz 帯域にピークが現れ、この帯域が主要帯域となる原因について、数値シミュレーションを用いて検討した。

2. 解析モデルの概要

本報では、車両・軌道・構造物系の移動加振解析と軌道・構造物・地盤系の振動伝播解析を結合した予測手法³⁾を用いた。この手法では、移動加振解析により構造物に入力される加振力を計算し、計算した加振力を振動伝播解析に入力として与えることで、沿線地盤の振動を予測する。移動加振解析では車両と軌道・構造物を 2 次元 FEM でモデル化した。解析には車両走行振動解析プログラム DALIA（（株）構造計画研究所）を用いた。振動伝播解析では高架橋を 3 次元 FEM で、地盤を薄層要素法でモデル化した。解析には 3 次元動的相互作用解析プログラム SuperFLUSH/3D（（株）構造計画研究所）を用いた。今回のモデルは桁式高架橋であり、軌道はスラブ軌道である。加振点はレール締結装置間隔の 0.625m ごとに設定し、左右レール位置を加振した。加振点はレール片側に 241 点ずつで、最大加振範囲は 150.0m(=(241-1)*0.625m)である。出力点は、モデル中央付近にある円柱橋脚の中心から 9.5m 位置の地盤である（図 1）。

3. 解析結果

数値シミュレーションにより求めた列車速度 280km/h の振動加速度レベルを実測記録と併せて図 2 に示す。図 2 をみると、40Hz 程度の帯域まではピークとなる周波数が実測記録と一致しているが、その値は 8Hz 程度以上の帯域で差が大きくなる。しかし、今回の検討では、上記したように 4～5Hz 帯域に現れるピークを検討対象としているため、このモデルを用いて検討を行った。

数値シミュレーションにより求めた列車速度 398km/h の振動加速度レベルを併せて図 2 に示す。これをみると、列車速度 280km/h において 3.15Hz 帯域にあったピークが、列車速度 398km/h では 4～5Hz 帯域に移動していることが確認できる。また、そのピークの値は 10～15dB 大きくなっている。岩田ら²⁾が指摘した現象は、この 4～5Hz 帯

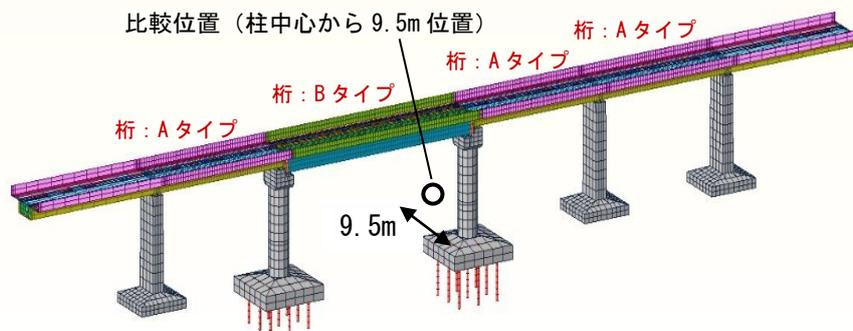


図 1 振動伝播解析の解析モデルと出力点位置

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 東京都国分寺市光町 2-8-38 防災技術研究部 地質 TEL042-325-5698

域におけるピークの増大であると考えられ、今回のシミュレーションを用いることでその現象が再現できるとわかった。以下では、シミュレーションを用いて、4~5Hz 帯域においてピークが増大する現象の解明を行った。

4. 低周波帯域の増幅の現象解明

4. 1 加振力特性の検討

鉄道振動は、加振力特性と構造物・地盤の伝播特性により、その応答が決まる。本節では、そのうち加振力特性が 4~5Hz 帯域においてピークが増幅する現象に及ぼす影響を検討した。移動加振解析により構造物に入力される加振力の平均値を図 3 に示す。図 3 には列車速度 280km/h および 398km/h の値を示している。これをみると、列車速度 280km/h 時の 3.15Hz 帯域の加振力の平均値と列車速度 398km/h 時の 4~5Hz 帯域の加振力の平均値のパワー和がほぼ同じ値となっている。したがって、加振力特性には 4~5Hz 帯域においてピークが増大する現象の原因ではないと考えられる。

4. 2 構造物・地盤の伝播特性の検討

次に、加速度周波数応答関数に着目し、構造物・地盤の伝播特性の検討を行った。右から 1 つ目の A タイプの桁の床スラブを加振し、橋脚直近地盤を出力点とした際の加速度周波数応答関数を図 4 に示す。これは、一本の桁上にある全ての加振位置における加速度周波数応答関数の平均値である。これをみると、4.5Hz 付近にピークがあることがわかる。したがって、同じ大きさの加振力であれば 3.15Hz 帯域よりも 4~5Hz 帯域の方が地盤でのしんどうの加速度振幅が大きくなる。以上より、列車速度 280km/h において 3.15Hz 帯域内にあった加振力のピークが列車速度の増加とともに高周波側の 4~5Hz 帯域へと移動することで、4~5Hz 帯域において振動加速度レベルのピークが増大したと考えられる。ここで 4.52Hz は図 1 の A タイプの桁の一次曲げの固有振動数である。

5. まとめ

本報では、列車速度が 300km/h を超えると 4~5Hz 付近の帯域の振動が主要帯域となる現象の原因を把握するため、数値シミュレーションを用いた検討を行った。その結果、4~5Hz 帯域においてピークが増大した原因は、加振力の大きさではなく、加振周波数の変化と構造物・地盤の伝播特性にあることがわかった。今後は、

参考文献

1)吉岡修：新幹線鉄道振動の発生・伝播モデルとその防振対策法への応用、鉄道総研報告、特別号、1999。2)岩田直泰・横山秀史・芦谷公稔：新幹線高速走行時の地盤振動特性、地盤環境振動の予測と対策の新技术に関するシンポジウム、地盤工学会、2004。3)横山秀史、伊積康彦、渡辺勉：3次元振動解析による地盤および建物振動の予測シミュレーション手法、鉄道総研報告、Vol.29、No.5、pp.41-46、2015。

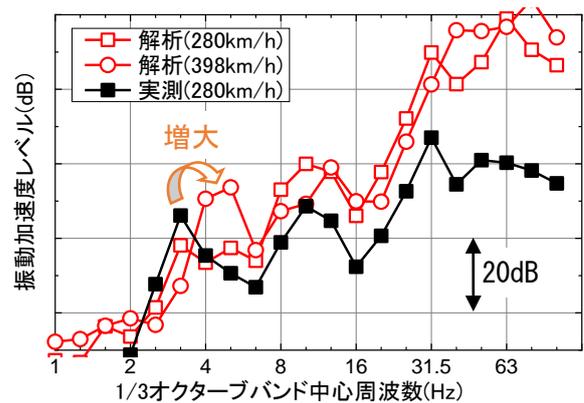


図 2 実測記録とシミュレーション結果の比較

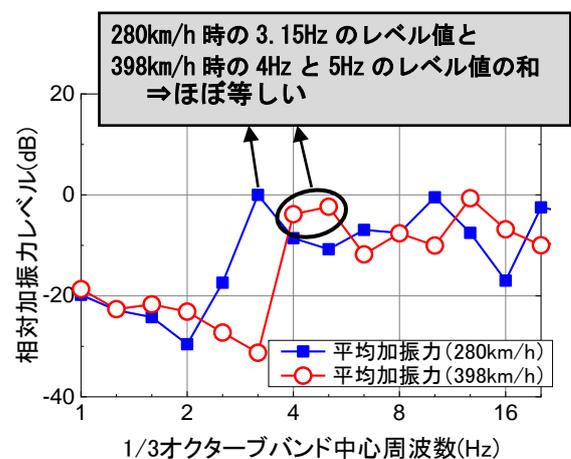


図 3 列車速度 280km/h 時の平均加振力と 398km/h

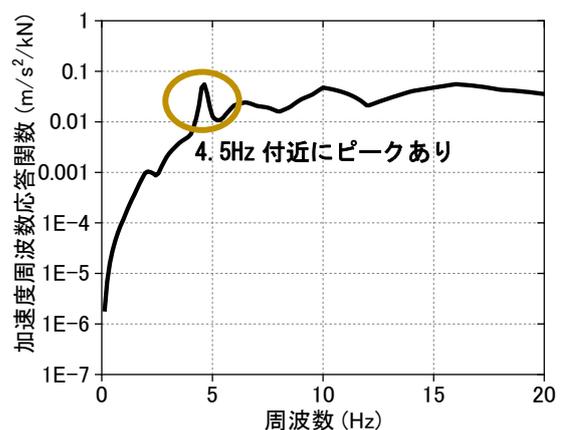


図 4 シミュレーションによる床スラブから沿線地盤までの振動の周波数応答関数の平均値

今回の知見を用いて、列車高速走行時に対応した予測手法の提案や対策工の検討を行う。