

高架橋振動特性が鉄道振動に与える影響の検討

(公財)鉄道総合技術研究所 正会員 ○権藤 徹

(公財)鉄道総合技術研究所 正会員 横山 秀史

1. はじめに

新幹線の更なる高速化を検討する上で、環境保全の観点から地盤振動の速度依存性に関する評価が重要となる。過去に行われた速度向上試験時の地盤振動測定結果のうち、列車速度 250km/h と 360km/h における、高架橋から 5m と 10m 地点の 1/3 オクターブバンドスペクトルを図 1 に示す¹⁾。同図は列車速度 360km/h におけるオールパス値を 0dB として示している。文献 1 では、測定結果から列車速度 300km/h 以上の高速走行において 4Hz 前後の低周波帯域が地盤振動の主要帯域になる場合があることを報告している。

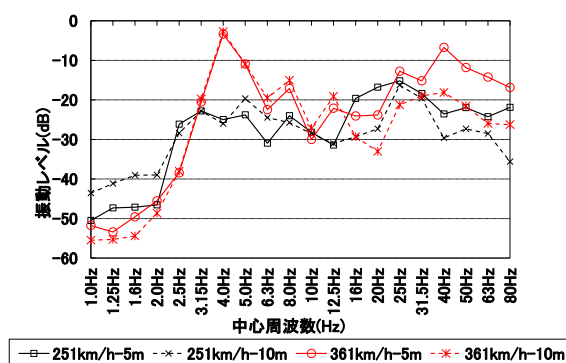


図 1 地盤振動の周波数分析¹⁾

このような現象を解明するため、野寄ら²⁾は数値シミュレーションを用いて加振点から沿線地盤までの振動の周波数応答関数を算出することで、列車の高速走行において 4～5Hz 帯域の地盤振動レベルが増幅した要因は、列車からの加振力特性ではなく、構造物・地盤の伝播特性にあることを報告している。また、横山ら³⁾は高速走行時における地盤振動の速度依存性評価法に構造物振動特性を組み込むことを提案している。しかし、線区全体など広範囲を対象として高速走行による地盤振動が増加する箇所を予測する場合、詳細な数値解析にもとづいて多数の加振点から沿線地盤までの振動の周波数応答関数を求めることは現実的ではない。

そこで、本研究では高架橋の振動特性が鉄道振動に与える影響について、骨組みモデルを用いた固有値解析などの簡易的な検討方法を試みたので報告する。

2. 数値解析概要

本研究では、サブストラクチャー法を用いて高架橋と列車の相互作用を考慮した時刻歴動的応答解析を行うため、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。解析対象は文献 1 の路線箇所 a とし、鉛直

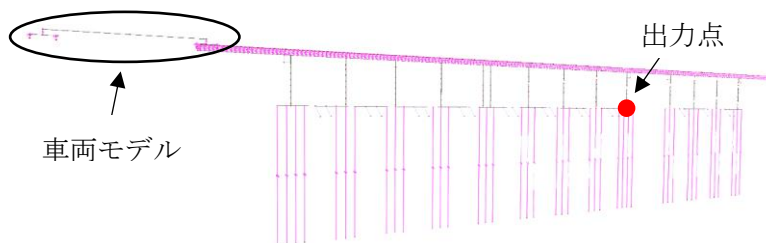


図 2 数値解析モデル

方向のみを対象とするため、線路直交方向の応答を考慮しない 2 次元モデルとして作成した。図 2 に解析モデルを示す。出力点は文献 1 の実測点に近い橋脚基部とした。車両は標準的な新幹線車両のモデルとし、モデルの制約上 8 両編成とした。また、軌道はスラブ軌道とした。列車速度 250km/h と 360km/h の 2 パターンの時刻歴動的応答解析および高架橋の振動特性を算出するための固有値解析を行った。

3. 数値解析結果

3.1. 周波数分析

時刻歴動的応答解析により求めた列車速度 250km/h と 360km/h における出力点の加速度のフーリエスペクトルを図 3 に示す。図 1 に示した実測結果と同様に、列車速度 360km/h において 4Hz が卓越していることが確認できる。また、40Hz 以上の高周波数帯域において列車速度 250km/h より 360km/h の振幅が大きくなっている傾向も実測結果と同じである。これらの結果から、作成した解析モデルが対象箇所の列車走行時における振動の基本的な特性を概ね表現できていると考える。

キーワード 地盤振動、速度向上、数値解析、周波数応答関数

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 TEL042-573-7265

3.2. 加振力特性

文献2の地盤振動シミュレーションでは、DALIAによる軌道-高架スラブ間の反力を構造物・地盤系モデルへの加振力として用いている。図4に、列車速度250km/hと360km/hにおける平均加振力の周波数分析結果を示している。この図より、文献2と同様に列車速度による平均加振力の変化は無く、速度に依存してピーク周波数が高周波側に変化しているのみであることから、加振力特性は4Hzにおいて地盤振動レベルが卓越する要因ではないと考えられる。

3.3. 高架橋の周波数応答関数

高架橋の固有値解析の結果と式(1)で表される1自由度系の基礎への振動伝達率⁴⁾から出力点の周波数応答関数の概略を算出した。重み付け定数であるPには固有値解析から求めた刺激関数、減衰定数であるhには数値解析モデルに用いたレイリー減衰の値から算出した値を使用した。

$$\lambda(f) = \frac{P\sqrt{1+4h^2(f/f_0)^2}}{(1-(f/f_0)^2)^2+4h^2(f/f_0)^2} \quad (1)$$

図5には伝達率の高かった4次モードと14次モードの振動伝達率を示す。また、図6には固有値解析で得られた1次モード(2.96Hz)から60次モード(49.6Hz)までの振動伝達率を合成した周波数応答関数の概略を示す。図5、図6ともに最大伝達率である4次モードにおける値が1となるように正規化している。図6の結果から、入力される列車による加振力の周波数が4次モード(4.4Hz)に近づくにつれて応答が大きくなることが確認できる。

したがって、今回の対象箇所において低周波帯域が地盤振動の主要帯となる要因として、高架橋の振動特性の影響が要因の一つと考えられる。

4. まとめ

本研究では、固有値解析から得られた高架橋の振動特性を用いて周波数応答関数の概略を算出し、過去の列車高速試験で報告された地盤振動の低周波帯域における速度依存性について、構造物の振動特性の影響可能性を示した。今後、他の構造物形式でも同様の検討を行い、列車の高速走行時における地盤振動の予測方法を提案する。

・参考文献

- 1)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
- 2)野寄真徳、横山秀史：高速走行列車による低周波帯域の鉄道振動の現象解明、第74回土木学会年次学術講演会公演概要集(投稿中)、2019
- 3)横山秀史、野寄真徳：高速走行時の地盤振動の速度依存性評価法の改良、第74回土木学会年次学術講演会公演概要集(投稿中)、2019
- 4)小坪清真：土木振動学、p61、森北出版

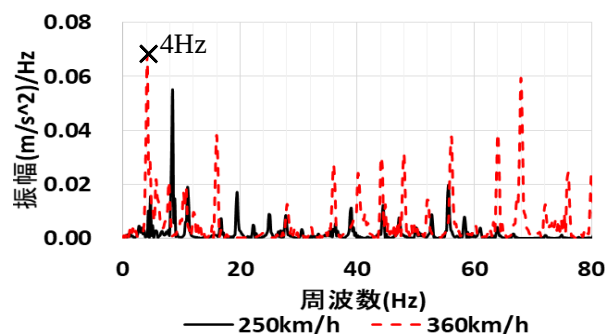


図3 橋脚基部の周波数分析

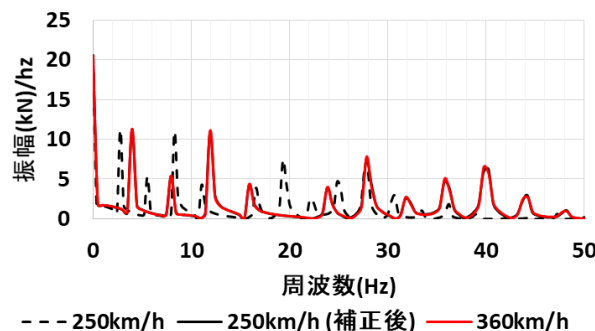


図4 加振力周波数分析

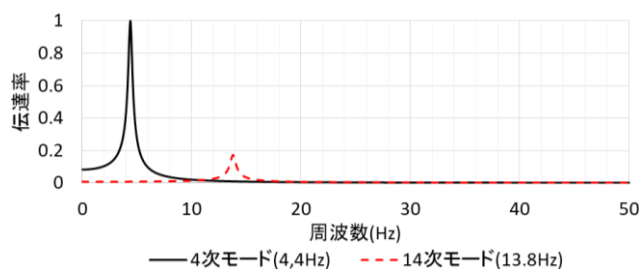


図5 橋脚基部-振動伝達率（4次、14次のみ）

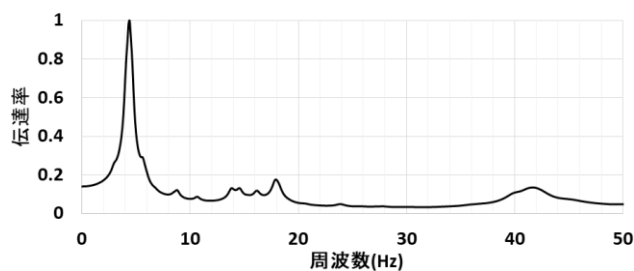


図6 橋脚基部-周波数応答関数