

動的連成解析にもとづく軌道狂いと地盤振動の関係の検討

鉄道総研	正会員	○横山 秀史	鉄道総研	正会員	岩田 直泰
JR西日本		高田 幸裕	構造計画	正会員	矢部 明人
鉄道総研	正会員	芦谷 公稔			

1. はじめに

列車走行により沿線で生じる地盤振動に影響する要因の一つに、軌道の高低狂いが考えられる。近年、比較的土被りの小さい在来線トンネルにおいて、レール頭頂面の不整により地盤振動が顕著に増大した事例が報告¹⁾され、走行路面の不整による影響が無視できない場合があることが確認された。本報では、車両・軌道・構造物系の動的解析モデルを作成し、走行路面の不整と地盤振動の関係について検討した結果について述べる。

2. モデルの概要

車両・軌道・構造物系の動的解析は、汎用の交通荷重解析プログラムDALIA²⁾を使用し、8両編成の新幹線車両モデルおよび3径間の標準ラーメン高架橋モデルを作成しておこなった(図1)。車両は、車体および台車を剛な梁、輪軸を集中質量でモデル化し、車体・台車・輪軸の各々の重心位置には重力に相当する節点荷重を与えた。

構造物は中層梁のある直接基礎の3径間標準ラーメン(スパン8m×3)を梁要素でモデル化し、ブロック間はスパン9mのゲルバー梁で連結した。また、地盤については鉛直・水平・回転の3成分のばねでモデル化した。地盤ばね定数は測定箇所の地盤(深さ2m以下はN値50以上の粘性土および砂質土)および基礎に対する設計標準のばね定数を用いた。軌道部は、レール2本分と軌道スラブを梁、軌道パッドをばねおよびダッシュポットでモデル化した。軌道パッドのばね定数は、レール変位が実測値と適合するように定めた。軌道スラブの支持ばねは硬質樹脂による全面支持として設定した。また、バラスト軌道の場合は、まくらぎおよび道床質量を一つの集中質量要素でモデル化し、これを道床相当のばねおよびダッシュポットで支持する簡易モデルとした。ラーメン高架橋は全部で3ブロック作成し、主として中央のブロックを評価対象とした。

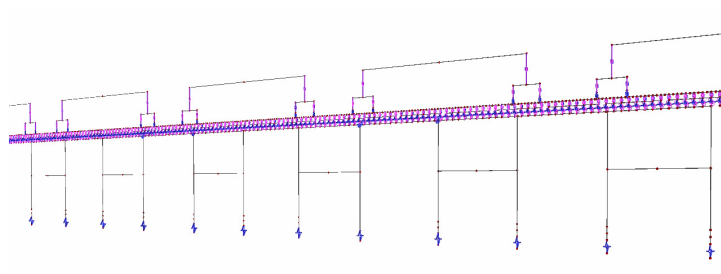
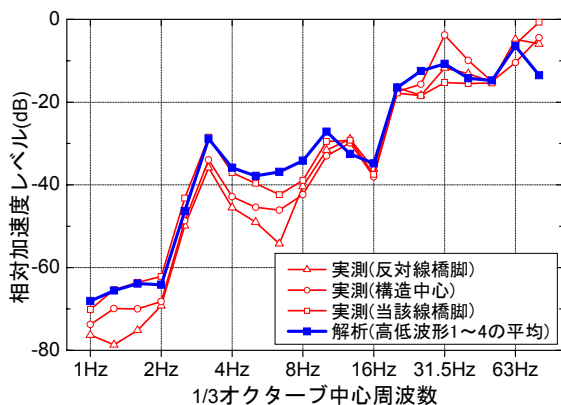


図1 車両・軌道・構造物系の動的解析モデルの例

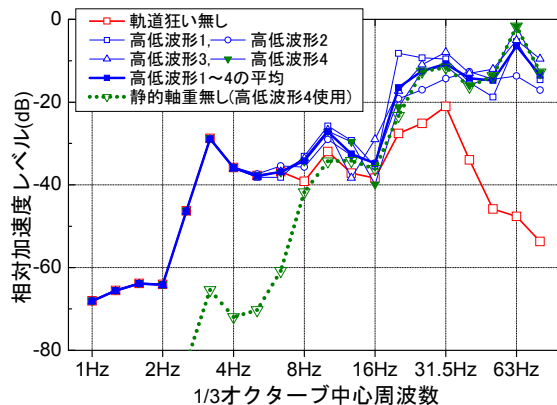
図1の動的解析モデルにもとづく解析結果を図2に示す。ここでは、スラブ軌道区間の高架橋直近地盤3点での実測値を対応する位置の橋脚基部の振動加速度と比較した。評価にあたっては、3点の振動加速度レベル実測値の平均が0dBとなるように正規化した。軌道の高低狂い波形は、スラブ軌道区間でのレール高低波形実測値(1mサンプリング)4セットの各々に別途

図1の動的解析モデルにもとづく解析結果を図2に示す。ここでは、スラブ軌道区間の高架橋直近地盤3点での実測値を対応する位置の橋脚基部の振動加速度と比較した。評価にあたっては、3点の振動加速度レベル実測値の平均が

0dBとなるように正規化した。軌道の高低狂い波形は、スラブ軌道区間でのレール高低波形実測値(1mサンプリング)4セットの各々に別途



(a) 実測結果と解析結果の比較



(b) 軌道の高低波形による解析結果の変化

図2 スラブ軌道区間の動的解析結果(速度278km/h、実測された振動加速度レベルの平均値を0dB)

キーワード 鉄道振動, 振動解析, 車両・軌道・構造物連成解析, 軌道の高低狂い

連絡先 〒185-8540 東京都分寺市光町2-8-38 (財) 鉄道総合技術研究所 地質 TEL 042-573-7265

ランダムに発生させた短波長の高低波形を加えて作成した。

図2(a)から、5~8Hz帯域で実測値より解析値の方が大きいものの、周波数ごとの振動加速度レベルの傾向は概ね再現できていることがわかる。次に、図2(b)から軌道の高低波形による計算結果の変化をみると、10Hz以下の帯域ではいずれの高低波形の場合もほぼ同じ振動加速度レベル値であるのに対し、12.5Hz以上の帯域では軌道高低波形による振動の変化が大きい。軌道高低波形を除いて計算した結果(軌道狂い無し)に着目すると、16Hz程度以下の周波数帯域では高低波形がある場合と概ね同程度の振動であるのに対し、20Hz以上の帯域では軌道狂いがある場合よりも顕著に振動が小さく、40Hz以上の帯域では10~15dB程度以上の差が生じている。また、車両モデルから重力に相当する節点荷重を除いて計算すると(静的軸重無し)、概ね10Hz程度以下の周波数帯域で他のケースよりも振動が小さく、特に6.3Hz以下の低周波帯域では振動がほとんど生じていないのに対し、16Hz以上の帯域では、他のケースとほぼ同程度の振動が生じていることがわかる。

3. マルタイ施工前後の振動変化

2.のモデルを用いて、マルタイ施工による軌道高低狂いの変化が地盤振動に与える影響について検討した。軌道モデルは有道床軌道モデルとし、軌道高低波形は2.と同様にマルタイ施工前後のレール高低波形実測値(1mサンプリング)3セットの各々に、別途ランダムに発生させた短波長の高低波形を加えて作成した。なお、短波長波形については、マルタイ施工前後で同一のものを用了。

マルタイ施工前後の振動加速度レベルと軌道高低波形スペクトル変化量の関係を図3に示す。ここで、スペクトルの変化量は3種類の軌道高低波形に対する計算結果の平均である。また、振動加速度は評価位置によっても異なるため、振動加速度変化量は中央のラーメンを構成する4柱と終点方のラーメンの1柱目の計5箇所の平均により評価した。なお、軌道高低狂いは車両に対しては列車速度に応じて時間変化する強制変位として作用するため、図3では列車速度が278km/hの時のスペクトル変化を示した。図3よりマルタイ施工前後の振動加速度と軌道高低波形の変化をみると、8Hz以上の帯域では両者がよく対応していることがわかる。なお、6.3Hz以下の低周波帯域の振動変化はごく小さく、軌道狂いに起因する軸重変動の影響はほとんどみられなかった。25Hz以上の帯域の振動変化が小さいのは、実測波形が1mサンプリングであるため、波長3m程度以下(概ね25Hz以上の振動加速度成分に対応)の成分が含まれないことが原因と考えられる。

4. まとめ

汎用の移動荷重解析ツールを用いて車両・軌道・構造物系の連成振動モデルを作成し、走行路面の不整と地盤振動の関係について検討した。結果をまとめると以下のとおりである。

(a)数値シミュレーションで得られた橋脚下部の振動は橋脚近傍地盤での実測結果と概ね一致しており、鉛直方向の地盤振動は本報のモデルである程度再現可能と考えられる。

(b)作成したモデルを用いて、軌道の高低波形の違いによる地盤振動への影響を検討した。マルタイ施工前後の軌道高低波形(1mサンプリング)を用いた計算結果では、8~16Hz帯域で3~6dB程度の振動低減がみられ、当該の周波数帯域での軌道高低狂いに起因する車両への強制変位スペクトルの変化に対応していることがわかった。また、6.3Hzより低い周波数では静的軸重の影響が大きく、軌道高低波形の違いが解析結果に与える影響が小さいことを確認した。

参考文献

- 1) 岩田直泰・横山秀史・芦谷公稔・斎藤聡：波状摩耗レールの更替による地盤振動特性の変化、鉄道力学論文集、No.10、2006。
- 2) 矢部明人：サブストラクチャー法を用いた移動体と構造物の動的相互作用解析手法の開発、土木学会第61回年次学術講演会、2007。

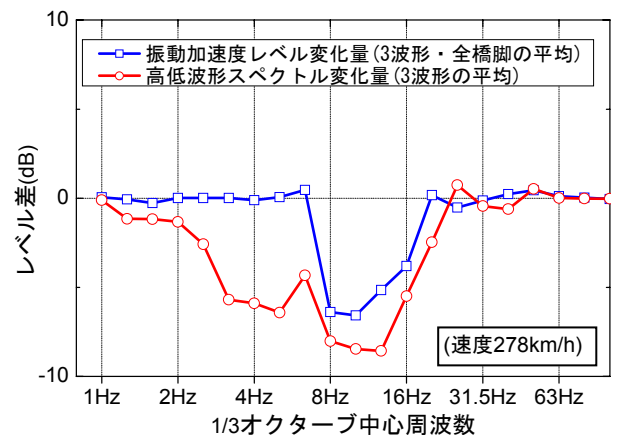


図3 マルタイ施工前後の振動および軌道高低波形スペクトルの変化(施工後と施工前のレベル差)