

鉄道車両走行時の構造物の振動特性に関する解析的研究

九州大学 学生会員 ○岡村 麻里
九州大学大学院 フェロー会員 園田 佳巨
鉄道総合技術研究所 正会員 洲上 翔太

1. 目的

鉄道技術の発達により新幹線の走行速度は高速化され、それにともない鉄道構造物の振動や沿線地盤振動も大きくなってきている。現在の営業速度に対しては、防振スラブ軌道の設置や構造物の剛性の増加などの様々な振動対策が有効に機能しているが、今後の走行速度の更なる高速化に対応した振動対策の開発が必要と考えられる。高速化した新幹線車両が沿線環境に与える影響を評価するには、列車走行時の鉄道構造物の振動特性を把握する必要がある。そこで本解析では、3次元有限要素でモデル化した鉄道高架橋を用いた振動解析を行い、車両の走行速度の違いが構造物の振動特性に与える影響について考察した。

2. 解析概要

本研究では汎用有限要素解析ソフトウェア MSC.Marc2010 を用いて列車走行荷重を想定した加振解析を行い、沿線地盤振動の加振源となる高架橋の柱の応答加速度について、走行速度の違いが与える影響について評価した。厳密には新幹線車両と構造物の両者をモデル化した走行シミュレーションを実施し、軌道下の構造物に与える影響を評価する方が望ましいが、車両と構造物の連成解析には非常に長時間の計算が必要である。そこで、車両と軌道だけを用いたモデルで車両走行シミュレーションによって軌道に作用する荷重特性を評価する解析と、得られた車両走行荷重を加振力とした軌道下の構造物の振動解析の2段階に分けた検討を行うことにした。本報告では、後者の解析で行った構造物の振動解析結果を示す。

2.1. 解析モデル

本解析には図-1 に示すような高架橋モデルを用いた。高架橋は1ブロックあたり3径間 23.85m のモデルを4ブロック連続させた全長 95.4m のモデルである。高架橋上部の高欄と床版はシェル要素、下部の橋脚と縦梁、横梁は梁要素で作成し、メッシュ刻みについては高欄、床版、および縦断方向の梁はおおよそ 1m 間隔で X 軸方向に 96 分割、橋脚は Y 軸方向に 1m 間隔で 10 分割している。図-1(右)の矢印で示す位置がレール位置であり、レール上の各節点に加振荷重を入力した。節点総数は 1424 点、要素総数は 1575 要素である。

2.2. 材料特性

床版と高欄の材料特性を表-1 に、梁と橋脚の材料特性を表-2 に示す。梁と橋脚についてはモデル化を簡易にするため、剛性は鉄筋配置を考慮し、各部材の断面形状について等価な値となるように換算した。

2.3. 解析条件

境界条件として、高架橋の橋脚下端はすべて完全固定した。また、構造物の自重によるつり合い状態を再現するため、死荷重解析(静解析)を行った後で、列車走行荷重モデルを用いた加振解析を行った。解析は、通常の営業速度 V と $1.25V$ について、軌道の弾性係数を変えて得られた荷重波形(case1,2/case5,6)、軌道の重量を変えて得られた荷重波形(case1,2/case5,6)を用いた計 6 ケースの検討を行った。

入力荷重については、図-2(b)に示す 1 点あたりの荷重波形を高架橋の車両進行方向の節点間距離を考慮し、移動荷重として各節点に入力した。荷重波形は、車両と軌道だけをモデル化した走行シミュレーション解析で得られた図-2(a)に示す時刻歴波形を図-2(b)のように三角形で近似し、車両長 25m の一般的な新幹線車両 3 両が走行する状態を仮定して、合計 12 車輪が通過する状態を再現した。

Case1-6 の荷重波形を図-3 に示す。Case1,Case2 を基準とし、Case3,Case4 は軌道の CA モルタルの弾性係数を小さくした場合、Case5,Case6 は軌道スラブの重量を増加させた場合の荷重波形である。

3. 解析結果

図-1 に示す、非加振側の床版から 1m 下に位置する点における柱の鉛直加速度を通常の営業速度 V の場合と 1.25V の場合で比較した。得られた鉛直加速度の時刻歴波形を図-4 に示す。グラフより、1.25V で走行した場合の鉛直加速度は通常の営業速度 V の場合のおよそ 2 倍の振幅となることが分かった。

鉛直加速度の時刻歴波形について周波数解析を行い、得られた周波数領域での応答加速度分布を case1,case2 について図-5 に示す。両速度ともに応答加速度の分布は同じような分布となるが、各周波数における応答加速度の大きさは通常の営業速度 V よりも 1.25V の場合のほうが大きくなっている。

軌道の CA モルタルの弾性係数の大きさが構造物に与える影響について、case1,case2 と case3,case4 で比較したグラフを図-6 に示す。通常の営業速度 V、1.25V ともに弾性係数を大きくした case1,case2 よりも弾性係数を小さくした case3,case4 の場合には応答加速度は増加しており、同速度では弾性係数の増加が振動低減に有効であることが分かる。

軌道スラブの重量の影響について、case1,case2 と case5,case6 で比較したグラフを図-7 に示す。case1,case5 を比較すると、通常の営業速度 V においては軌道の重量を増加すると応答加速度も全体的に増加するが、1.25V の場合には case2,case6 において 50Hz 以下の周波数領域に応答加速度のピーク値の差はあまり見られず、軌道スラブの重量が振動低減に与える影響は小さいことが分かる。

また、case4 と case6 を比較すると case4 の応答加速度の値が全体的に小さく、速度の増加とともに、剛性の増加が振動低減に有効となることが分かる。

4. 結論

荷重波形が構造物に与える影響を評価するにあたり、軌道の物性値や走行速度の違いが構造物の応答に与える影響を確認した。特に、走行速度が増加した場合、軌道の剛性が構造物振動に影響を与えることが確認された。

今後は、入力荷重波形の妥当性を確認し、今回用いた 6 ケース以外にも様々な値を用いて同様に振動解析を行い、1.25V での走行時の構造物振動を低減させるために有効な振動対策を検討する。

表-1 材料特性(床版)

ヤング率	25kN/mm ²
ポアソン比	0.2
密度	2.3 × 10 ⁻⁶ kg/mm ³
板厚	400mm

表-2 材料特性(梁・橋脚)

ヤング率(コンクリート)	26.5kN/mm ²
ヤング率(鉄筋)	205GPa
ポアソン比	0.2

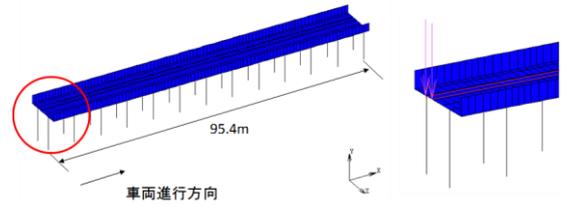
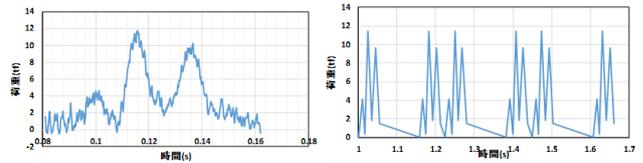
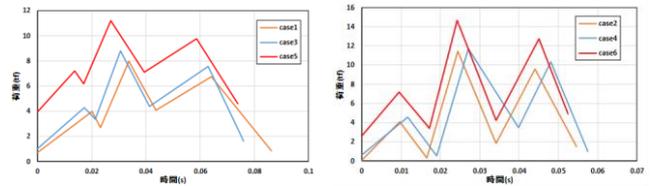


図-1 解析モデル



(a) 荷重波形データ (b) 近似荷重波形

図-2 荷重波形



(a) 通常の営業速度 V (b) 1.25V 走行時

図-3 解析条件

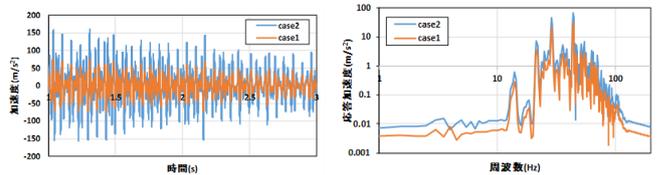


図-4 鉛直加速度

図-5 応答スペクトル

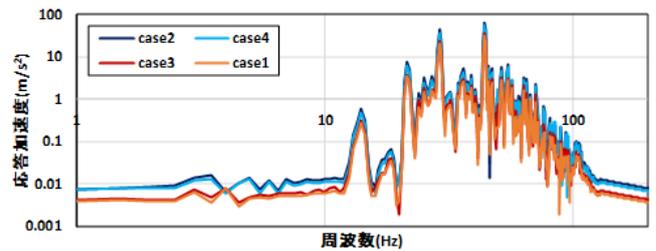


図-6 弾性係数の影響

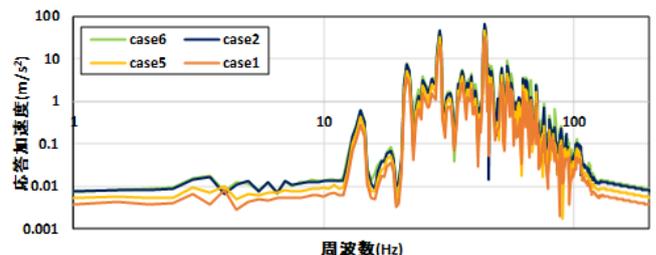


図-7 軌道重量の影響