

鉄道振動の数値シミュレーションにおける加振範囲の検討

(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）を適切に予測し、振動対策工の検討を行うためには、数値シミュレーションは重要な手段の一つである。筆者らは車両・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を提案し、研究を行ってきた^{1),2)}。

この内、振動伝播解析では、加振位置から構造物や地盤の出力点までの伝達関数を加振点ごとに計算する必要があり、列車走行範囲を広げると計算時間の増加に直結する。しかし、評価したい点の応答に影響を与える加振力の範囲を把握できれば、計算時間を抑えることができる。加えて、鉄道振動の対策を行う必要のある範囲の検討等に用いることが可能である。そこで本報では、振動伝播解析において適切なシミュレーション結果を得るために必要な加振範囲を把握することを目的として、加振範囲を変化させたときの応答の変化について検討した。

2. 解析モデルの概要

本報では、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 SuperFLUSH/3D ((株) 構造計画研究所) を用いた。今回の検討に用いたモデルは、ゲルバー式3径間の標準ラーメン高架橋である(図1)。軌道はスラブ軌道である。モデルは25m の高架橋を3セット作成し、高架橋と高架橋の間には10m のゲルバー桁をモデル化した。全長は95m 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152点ずつで、最大加振範囲は94.375m(=(152-1)*0.625m)である。出力点は、中心の高架橋の起点側から2本目の柱中央位置を通る線路直交方向の線上の地盤に設定し、構造物中心から3.65m (柱面から0.3m) 地点、構造物中心から12.5m 地点、構造物中心から25m 地点、構造物中心から50m 地点に設けた(図2)。地盤は2層の水平成層構造とした(表1)。

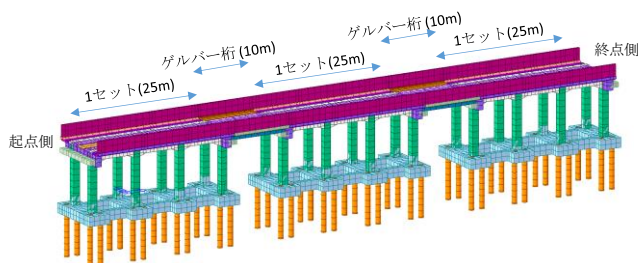


図1 解析モデル

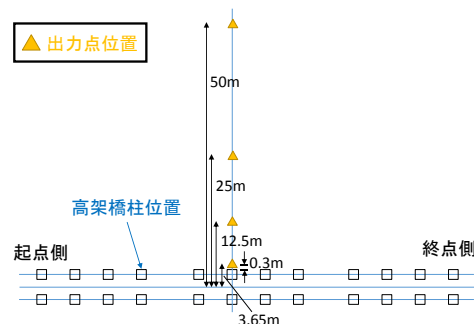


図2 出力点位置

3. 解析結果

3. 1 点加振解析の結果

高架橋上の各入力点を鉛直方向に点加振した際の地盤の鉛直方向の応答加速度の最大値を図3に示す。横軸は出力点

を設置した線路直交方向の線上からの線路方向の距離を示している。加振力は立ち上がり時間0.1秒のSmoothed Ramp関数の微分値とした。また、図3には内側レール位置と外側レール位置をそれぞれ加振した際の結果を示している。図3をみると、構造物中心から3.65m地点では出力点直近の高架橋の起点側を加振した際の応答が大きい。構造物中心から12.5m地点では、出力点直近の高架橋中心と起点側のゲルバー桁を加振した際の応答が大きい。また、構造物中心から25m地点では両側のゲルバー桁を加振した際の応答が大きい。

表1 地盤モデルの物性値

地層番号	深度(m)	層厚(m)	ポアソン比	単位体積重量(KN/m ³)	V _p (m/s)	V _s (m/s)	h(%)
1	0.00 ~ -6.00	6.00	0.497	16.7	1500	110	2.0
2	-6.00 ~ -206.00	200.00	0.479	16.7	1500	300	2.0

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 TEL 042-325-5698

に対し、構造物中心から 50m 地点では明瞭なピークがなく、出力点から線路方向に近い点を中心として、振源距離が大きくなるに連れて徐々に応答が小さくなる。出力点が構造物中心から 25m 以内の 3 点で、最大応答振幅が他の入力点と比較して大きい入力点がある明瞭な理由は現時点で不明だが、構造物の振動モードおよび地盤の波動伝播特性が影響しているものと考ええる。また、構造物中心から 50m 地点では、他の出力点と異なり、最大振幅が入力点から出力点までの線路方向の距離と対応しているように見える。

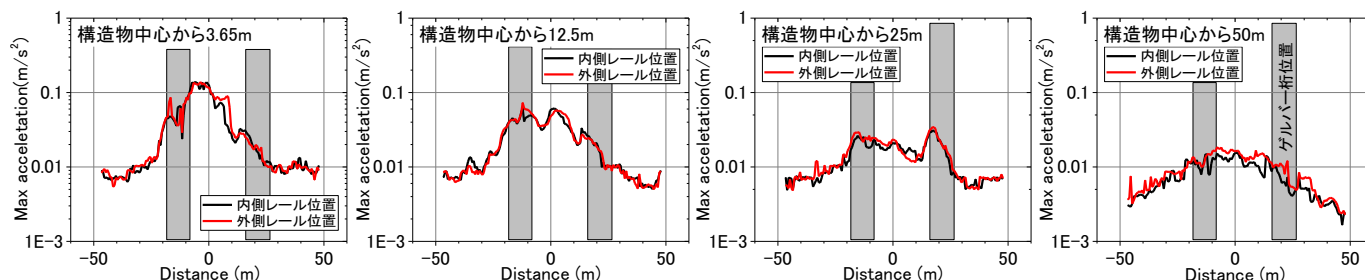


図3 高架橋上の各入力点を点加振した際の応答加速度の最大値

3. 2 移動加振解析の結果

車両・軌道・構造物系の移動加振解析によって得た走行時の加振力を軌道・構造物・地盤系の振動伝播解析の加振点に入力することで移動加振解析を行った。また、本報では、出力点位置直近の加振点から、起点および終点側に加振範囲を広げていった際の応答の変化について検討した。いくつかの周波数帯域について加振範囲と各帯域の振動加速度レベルの変化の関係を図4および図5に示す。図4は構造物中心から3.65m地点での結果、図5は25m地点での結果である。なお、図中の周波数は1/3オクターブバンド中心周波数である。列車速度は320km/hとした。図4をみると、2Hz帯域では加振範囲が20m程度を超えると応答が頭打ちになっている。また、50Hz帯域でも加振範囲が20m程度を超えると応答の変化は小さくなるが、20mより広い場合でも徐々に応答は増加する。一方、10Hzおよび25Hz帯域では、大きいところで振幅10dB以上の増減を短い周期で繰り返す。また、オーバーオール(OA)値をみると、加振範囲が20m程度を超えると応答の増加は小さくなるものの、20mより広い場合でも徐々に応答は増加する。次に図5をみると、10Hz、25Hz、50Hz帯域は図4の傾向と近いように見えるが、2Hz帯域は傾向が大きく異なり、規則的な凹凸が繰り返されていることがわかる。また、OA値は加振範囲が40m程度を超えると応答がほぼ頭打ちとなっている。以上より、構造物中心からの距離が異なる2点で、加振範囲と応答の関係に差があることがわかった。

4. まとめ

本報では、適切なシミュレーション結果を得るために必要な加振範囲を把握することを目的として、加振範囲を変化させたときの応答の変化について検討した。その結果、加振範囲と応答の変化の関係は、周波数バンドや出力点位置によって異なることがわかった。今後は、今回の知見を数値シミュレーションの加振範囲の検討をする際に利用する。

参考文献

1)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。 2)横山秀史、三橋祐太: 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、平成27年度全国大会第70回年次学術講演会講演概要集、2015。

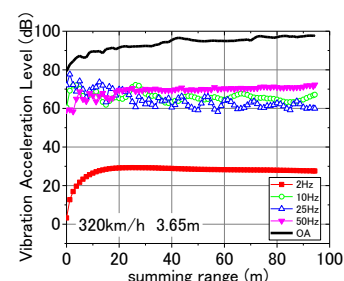


図4 構造物中心から3.65m地点での振動加速度レベル

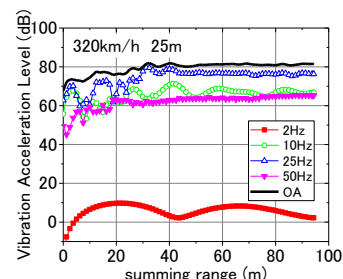


図5 構造物中心から25m地点での振動加速度レベル