

第 部門

異種地盤における地震周波数特性の高架橋 - 列車連成系地震応答に対する影響

神戸大学大学院 フェロー 川谷 充郎 北海道大学大学院 正会員 何 興文
 神戸大学大学院 学生員 品川 恒平 神戸大学大学院 学生員 ○山崎 基記

1. 研究の目的 橋梁と列車連成系の地震応答は、橋梁、列車および地震動の特性に応じて非常に複雑になることは、著者らの既往研究^{1), 2)}において示した。これまでの検討に用いた地震波および橋脚の支持条件は対象橋梁周辺の実際の地盤種別である G4 地盤（普通～軟弱地盤）³⁾をもとに設定している。そこで、異なる地盤特性による入力地震動や橋脚支持条件が、列車載荷下の高架橋の応答特性に及ぼす影響について、更なる検討を要する。本研究では、G4 地盤に加えて G1 地盤（基盤）³⁾も想定した高架橋 - 列車連成系の地震応答解析を行い、異種地盤における地震周波数特性の高架橋 - 列車連成系地震応答に及ぼす影響を検討する。

2. 橋梁 - 列車連成系の地震応答解析

2.1 解析手法およびモデル 高架橋をレール構造と共に Fig.1 に示すように、すべて一節点 6 自由度を有する三次元はり要素でモデル化し、その振動方程式をモード法により定式化する。対象橋梁は RC ラーメン高架橋の三連(72m)とし、地盤の境界条件について、G1 地盤では固定、G4 地盤では地盤ばね²⁾を考慮する。高架橋モデルの減衰については、レイリー減衰を用いる。橋梁応答は、Observed point について照査する。列車は車両一両について、Fig.2 に示すように車体および前後台車の上下動、左右動および各軸回りの回転運動を考慮する 15 自由度振動系にモデル化する。ここで車輪とレールは変位を共有すると仮定し、軌道狂いの影響を考慮する。地震作用について、橋脚基礎における地震加速度による慣性力を橋梁および車両モデルの各質点に同時に作用するものとする。動的応答は Newmark- β 法を用いる逐次積分により求める¹⁾。

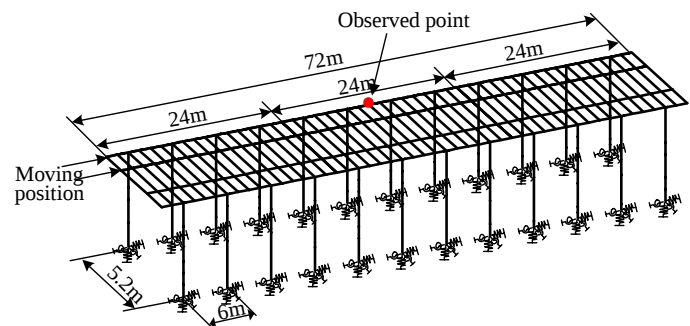


Fig. 1 Bridge model

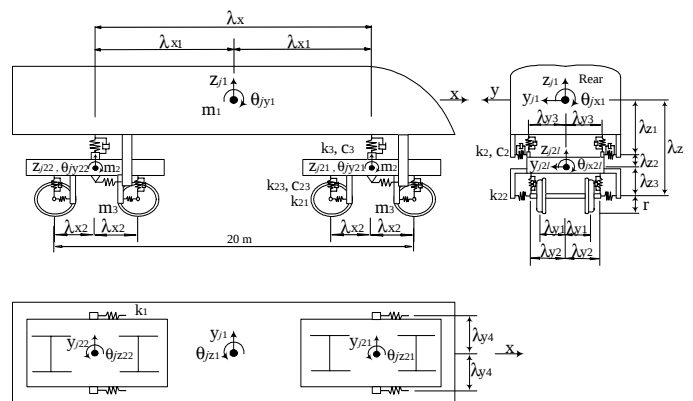


Fig. 2 15 DOF train model

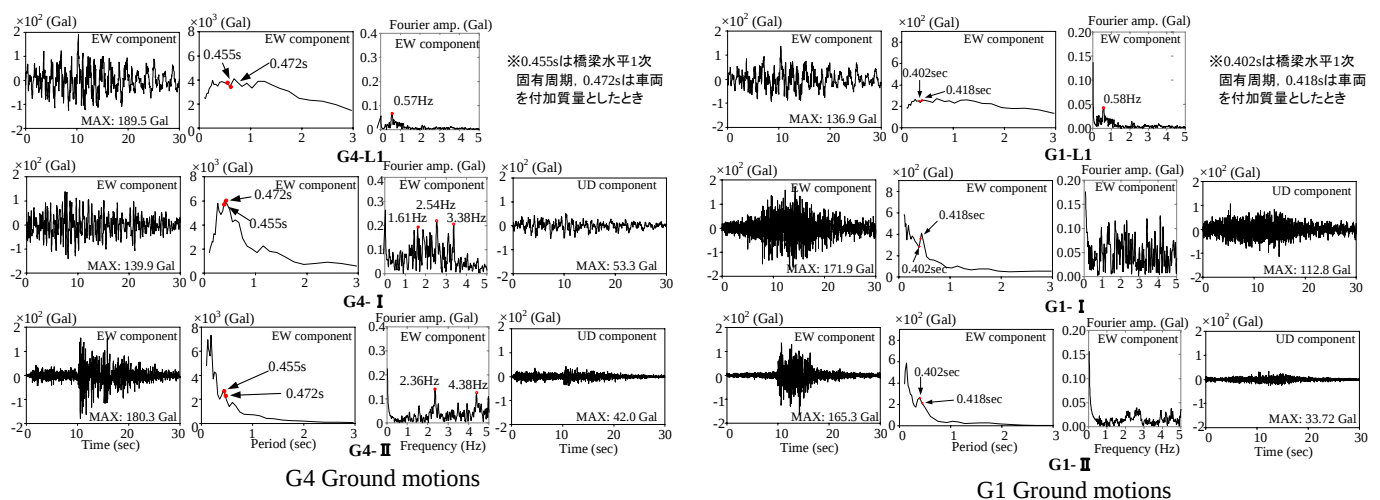


Fig. 3 Ground motions

2.2 入力波 入力波は正弦波および地震波とする．正弦波について，振動数を橋梁の一次固有振動数を含む振動数区間で変化させ，振幅は 100 Gal とし，水平方向のみ作用させ，解析時間は 10 秒とする．地震波は G4・G1 のそれぞれの地盤について，耐震設計標準³⁾で定められた Level 1 地震動（G4-L1 and G1-L1）および K-net による観測地震波から 2 波（Fig.3）を用いる．なお L1 設計地震動については EW 成分を示し，UD 成分は EW 成分の半分とする³⁾．解析に当たって，実際の状況を想定して水平および鉛直両方向に地震荷重を作用させ，解析時間は 30 秒とする．

2.3 解析ケース 列車の動的効果を評価するために以下 4 ケースを設定し解析を行う．Case-1：橋梁のみ；Case-2：三連橋梁の中央に位置する列車 3 両を橋梁の付加質量とする；Case-3：前ケースと同様な列車荷重を橋梁上に静止する動的システムとする；Case-4：列車走行（速度 270 km/h，地震動の間に車両が絶えず橋梁上を走行すると仮定）．

3. 解析結果 3.1 正弦波 地震動の周波数特性の橋梁地震応答への影響を明白にするために，前述正弦波を用いて解析を行う．Fig.4 は，正弦波の振動数（横軸）に対し，両橋梁モデルの水平方向最大加速度応答（縦軸）を示したものである．全体的に車両を振動系とする場合では，橋梁のみの場合の地震応答より小さく，車両がダンパーとして働く現象を確認できる．また，列車荷重を付加質量として考慮する場合，ある周波数以上の周波数に対し，橋梁のみおよび車両を振動系とする場合と比べ，橋梁の地震応答を危険側に評価する可能性が伺える．両モデルを比較すると，橋梁応答の卓越周波数は，固有振動数の違いによりシフトしている現象を確認できる．応答の大きさについて，両モデルにおける Case-2 と Case-3 が同レベルとなっているが，Case-1 において地盤ばね考慮モデルの方が大きく，Case-4 において橋脚固定モデルの方が大きいことが分かる．

3.2 地震波 Fig.5 に橋梁加速度応答の最大値および RMS 値を示す．G1 地盤上での設計地震波および実測地震波による解析結果は G4 地盤に比べて全体的に小さい応答となっているが，これは橋脚基礎を固定することによる橋梁の固有振動数の変化および入力地震動の違いによって生じたものと考えられる．また，観測地震波によって応答の大小が異なり，特に G4- において比較的大きな値となっている．これは，地震波の応答スペクトルで示した応答特性が反映されたといえる．比較的低い周波数帯で卓越周波数を有する G4- および G1- において RMS 値を見ると，Case-2 の方は他のケースより大きい応答を示している．

一方，比較的高い周波数帯で卓越周波数を有する G4- および G1- において Case-1 の RMS 値が他のケースより大きい値となっている．これらのことは，先に示した正弦波解析による結果の傾向と一致することが確認できる．

4. まとめ 本研究では，異なる地盤における地震周波数特性が高架橋 - 列車連成系の地震応答に対する影響を検討し，橋梁の地盤条件が活荷重下の地震応答に及ぼす影響を示した．耐震設計において，これらの要素をさらに検討する必要があることを示唆した．

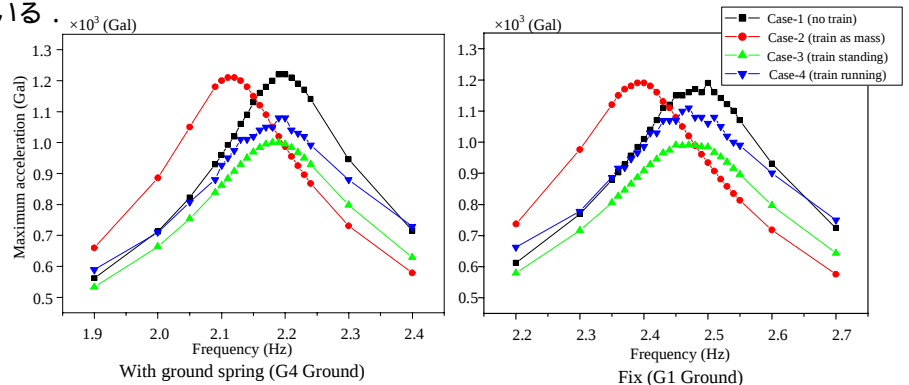


Fig. 4 Maximum acceleration of bridge due to sine wave

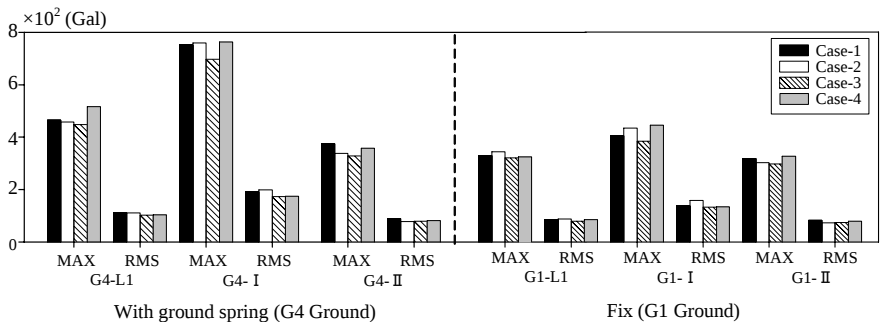


Fig. 5 MAX and RMS values of acceleration of bridge

参考文献

- 1) X. He, M. Kawatani, R. Sobukawa and S. Nishiyama: Dynamic Response Analysis of Shinkansen Train-Bridge Interaction System Subjected to Seismic Load, Proc. of 4th International Conference on Current and Future Trends in Bridge Design, Construction and Maintenance, Kuala Lumpur, Malaysia, 10-11 October 2005.
- 2) 川谷充郎, 何興文, 品川恒平, 西山誠治: 地震動周波数特性が列車荷重下の新幹線高架橋地震応答に及ぼす影響, 平成 20 年度土木学会関西支部年次学術講演会概要集, -60, 2008.5.
- 3) 鉄道総合技術研究所: 鉄道構造物等設計標準・同解説 (耐震設計), 丸善, 1999.10.