

第 部門 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

神戸大学大学院 フェロー 川谷 充郎 関西大学総合情報学部 正会員 何 興文
 神戸大学大学院 学生員 品川 恒平 (株)日建設計シビル 正会員 西山 誠治

1. 研究の目的 鉄道高架橋の耐震設計における列車荷重は従たる変動荷重として定義し、橋梁構造物の付加質量として扱っている¹⁾。しかし、実際に列車は非常に複雑な振動系であり、橋梁の地震応答に対する列車荷重の動的影響はさらに検討する必要がある。著者らのこれまでの研究^{2),3)}において、橋梁と列車連成系の地震応答は、橋梁および列車の振動特性、さらに地震動の特性に応じて非常に複雑になることを示した。本研究では、地震動の周波数特性が橋梁 - 列車連成系の地震応答に及ぼす影響を実測地震波および正弦波を用いて明らかにする。

2. 橋梁 - 列車連成系の地震応答解析 **2.1 解析手法**
 高架橋を三次元有限要素でモデル化し、その振動方程式をモード法により定式化する。列車は15自由度振動系とし、車輪とレールとの変位適合条件により橋梁との相互作用を考慮する。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²⁾。

2.2 橋梁モデル 対象橋梁は鉄筋コンクリートのラーメン高架橋(一連24m)の三連(72m)とし、レール構造と共にFig.1に示すように、すべて一節6自由度を有する三次元はり要素でモデル化する。Fig.1で示す三連モデルの中央ブロックにおけるCentral pointについて橋梁の地震応答を評価する。なお、橋梁の一次固有振動モード(橋軸直角水平モード)の振動数は2.20Hzで、列車質量を付加する場合は2.12Hzとなる。橋梁モデルの減衰については、レイリー減衰を用い、1次と2次振動モードに対して減衰定数を0.05とする。

2.3 列車モデル 車両一両について、車体および前後台車の鉛直、水平、ローリング、ピッチングおよびヨーイング振動を考慮したFig.2に示す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。

2.4 地震波 (1) 実測波: 橋梁の地盤条件に応じたK-netによる観測地震波から、周波数特性が異なる二波を選ぶ。Fig.3に2003年9月26日に北海道勇払郡穂別町(Ground motion 1)および2000年10月6日に岡山県岡山市新屋敷町(Ground motion 2)で記録された地震波を示す。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ついて地震荷重を作用させ、解析時間は30秒とする。(2) 正弦波: 正弦波振幅は100(Gal)と設定し、対象振動数を

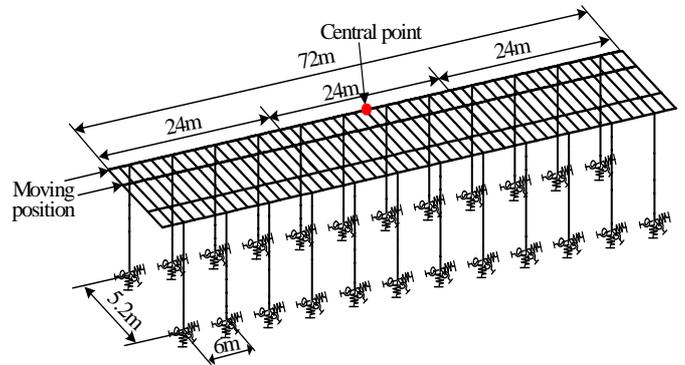


Fig. 1 Bridge model

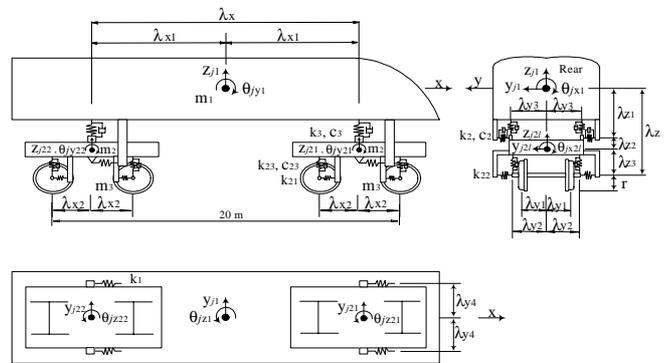


Fig. 2 15 DOF train model

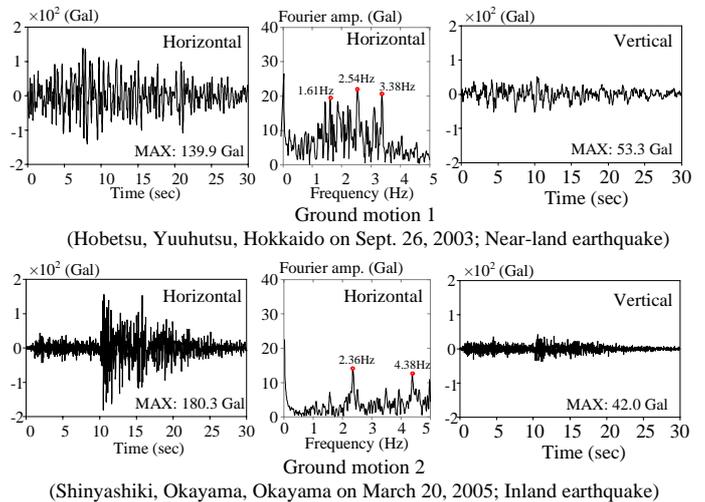


Fig. 3 Ground motions

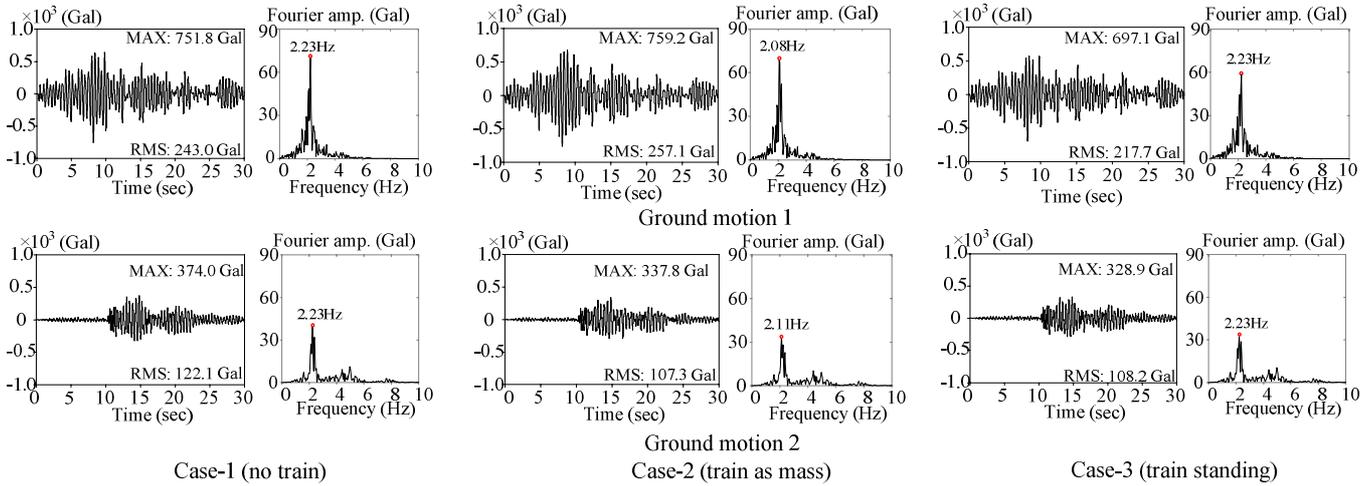


Fig.4 Horizontal acceleration responses of the bridge

橋梁の一次固有振動数を含む 1.9~2.4Hz 間で変化させ、全 16 波とする。
解析時間は 10 秒とする。

2.5 解析ケース 列車の動的効果を評価するために以下の三ケースを設定し解析を行う。Case-1：列車荷重を考慮しない橋梁のみ；Case-2：列車荷重を橋梁の付加質量とする；Case-3：列車荷重を橋梁上に静止する動的システムとする。ここで、Case-2 と Case-3 は同じく三連高架橋の上に列車三両を橋梁中央に静止しているとする。

3. 解析結果 実測地震波による橋軸直角水平方向の橋梁加速度応答を Fig.4 に、RMS 値 MAX 値を Fig.5 にそれぞれ示す。RMS 値については応答が大きい範囲(Ground motion 1 では 3~18 秒 ,Ground motion 2 では 9~24 秒)について評価する。Fig.4, 5 において、列車を付加質量とする場合、Ground motion 1 において橋梁のみの場合より大きい応答を示しているが、Ground motion 2 において逆な傾向となっており、RMS 値を見ると、列車を振動系とする場合よりもさらに僅かながら小さい応答を示している。

地震動の周波数特性の橋梁地震応答への影響を明らかにするために、実測地震波の場合と同じ解析条件で上述正弦波を用いて解析を行う。三ケースに対する正弦波による橋梁最大加速度応答を Fig.6 にそれぞれ示す。全体的に車両を振動系とする場合に橋梁のみ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。Fig.6 における応答値は、2.16Hz あたりで Case-1 と Case-2 と、2.20Hz あたりで Case-2 と Case-3 との大小関係が入れ代わっている。この現象から、列車荷重を付加質量として考慮する場合、ある周波数以上の高周波に対し、橋梁のみ及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恐れがある可能性が伺える。

4. まとめ 本研究では、橋梁 列車 地震連成解析手法を用いて、地震波の周波数特性が橋梁地震応答に及ぼす影響について評価を行った。耐震設計において、列車を単なる付加質量として考慮することは、橋梁地震応答を危険側に評価する可能性があり、列車の振動系としての動的効果を適切に評価する必要がある。

謝辞：本研究は、(独)日本学術振興会科学研究費補助金基盤研究 (B) No. 17360213 および(財)ひょうご科学技術協会一般学術研究助成金 (H.17-19 年度) の補助を受けた。また、防災科学技術研究所が運営している K-net の地震波データを利用して頂いた。ここに感謝の意を表す。

- 1) 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.
- 2) 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.
- 3) 川谷充郎・何興文・山口将・品川恒平・西山誠治・吉田幸司：高速鉄道高架橋地震応答における列車載荷の影響，土木学会第 62 回年次学術講演会講演概要集，I-432，2007.9。

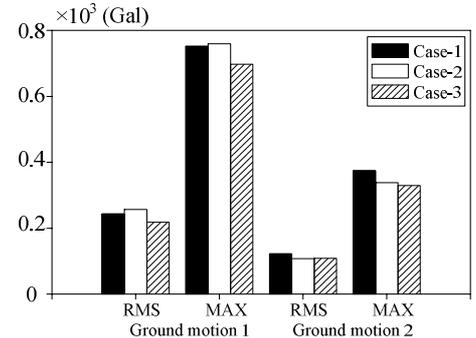


Fig.5 RMS and MAX values

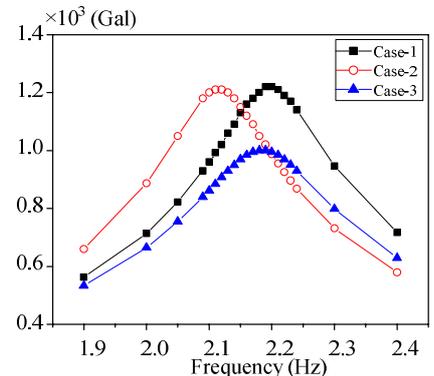


Fig.6 Bridge maximum accelerations