

地震および地盤特性が高架橋 - 列車連成系の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 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 (株)日建設シビル 正会員 西山 誠治

1. 研究の目的 著者らのこれまでの研究^{1), 2)}において、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を示した。解析に用いる地震波および橋梁の地盤種別は実測に基づいた G4 地盤（普通～軟弱地盤）³⁾ に設定している。しかし、地震や地盤特性により、列車載荷下の高架橋の応答特性が異なる可能性があるため、地盤条件が異なる場合の橋梁地震応答への影響を検討する必要がある。本研究では、G4 地盤に加えて G1 地盤（基盤）³⁾ も想定した橋梁 - 列車 - 地震連成解析を行い、地震波および地盤特性による新幹線高架橋の振動特性への影響を検討する。

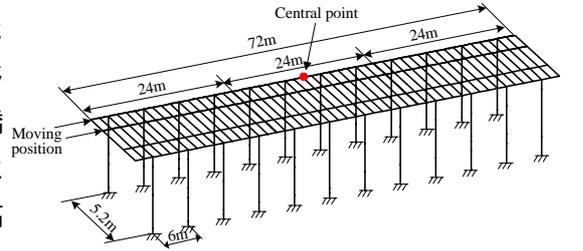


Fig. 1 Bridge model

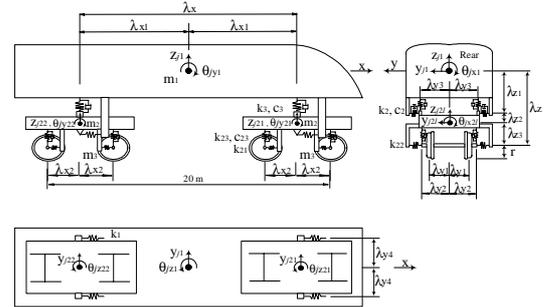


Fig. 2 15 DOF train model

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 自由度質点 - ばね振動系モデルとする。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⁾。

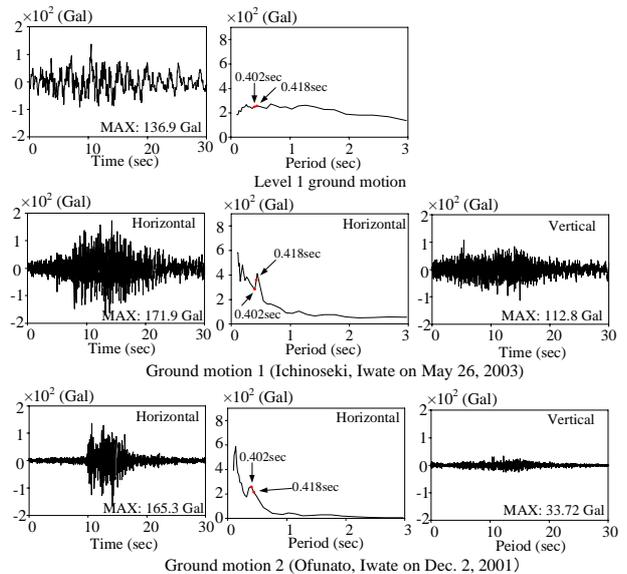


Fig.3 Ground motions

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、すべて一節点 6 自由度を有する三次元はり要素でモデル化する。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。橋梁応答の着目点は Fig.1 で示す Central point とする。なお、G1 地盤橋梁の一次固有振動モード（橋軸直角水平モード）の周期は 0.402sec で、列車質量を付加する場合は 0.418sec 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 地震波は、G1 地盤について耐震設計標準³⁾で定められた Level 1 地震動および K-net による観測地震波から、加速度応答スペクトル特性が異なる二波の計三波（Fig.3）を用いる。G4 地盤について、同じく設計 L1 地震動³⁾および参考文献 2)における Ground motion 1 と 3 を用い

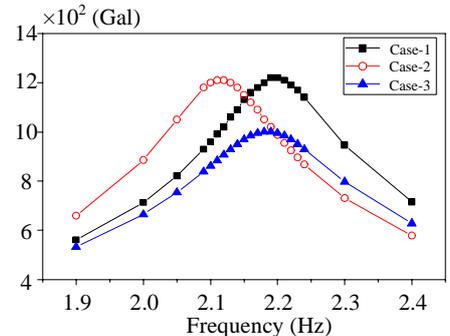


Fig.4 MAX values by sine wave

キーワード：地震応答解析，耐震設計，高速鉄道，連成振動解析

連絡先：〒657-8501 神戸市灘区六甲台町 1-1 神戸大学大学院工学研究科市民工学専攻 Phone:078-803-6383, Fax: -6069

る L1 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ついて地震荷重を作用させ, 解析時間は 30 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: 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 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, G4 地盤上で正弦波(振幅は 100 Gal の正弦波の振動数を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.)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.4 に示す. 全体的に Case-3 の応答が小さく, 車両がダンパーとして働く現象が確認できる. また 2.16Hz 付近で Case-1 と Case-2, 2.20Hz 付近で Case-2 と Case-3 の大小関係が入れ代わっていることから, 列車荷重を付加質量として考慮する場合, 橋梁の地震応答を過大或は過小評価する何れの可能性もあることが伺える.

3.2 地震波

G1 地盤で上記三つの地震波による橋軸直角水平方向の橋梁加速度応答およびフーリエスペクトルを Fig.5 に示す. RMS 値の評価については応答が大きい範囲だけに着目する. L1 ground motion, Ground motion 1 では列車を付加質量として考慮した場合に比較的大きい値となっているのに対し, Ground motion 2 では橋梁単独系において大きな値となっている. これは地震波の応答スペクトルの傾向と合致する. G1, G4²⁾地震動それぞれの地震応答解析結果の RMS 値と MAX 値を Fig.6 に示す. G1, G4 地盤における地震動それぞれ同様に上記正弦波による結果の現象を示している. また, G4 と比べ G1 地盤について全体的に小さい応答となっており, これは地盤を固定することにより橋梁の固有振動数の変化および地震動特性の違いによるものと考えられる.

4. まとめ

本研究では, 異なる地盤条件の地震波および正弦波による新幹線高架橋 - 列車 - 地震連成振動解析結果より, 橋梁の地震応答は地震動および地盤特性に応じて非常に複雑になることをさらに示した. 本解析で採用した基盤上の地震波による高架橋地震応答は, 軟弱地盤より小さい傾向を示しているが, 更に包括的に検討する必要がある. また, 耐震設計において列車が単なる付加質量とすることは必ずしも適切ではないことも明示した.

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させて頂いた. ここに感謝の意を表す.

- 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・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.
- 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.

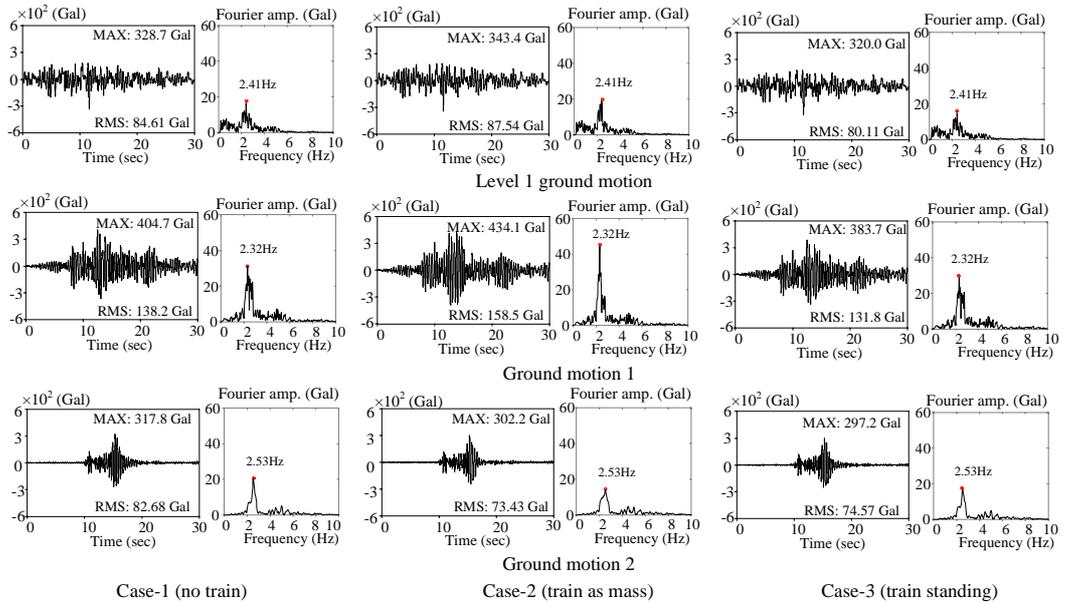


Fig.5 Horizontal acceleration of bridge

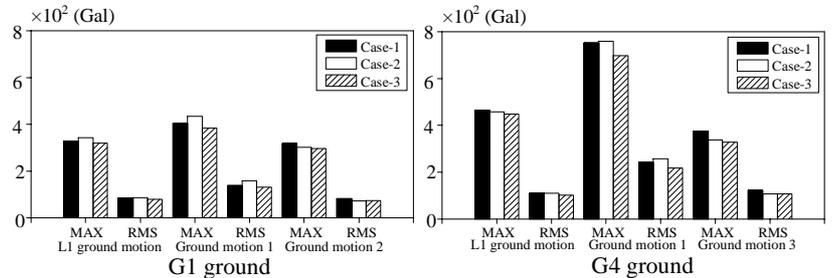


Fig.6 MAX and RMS values