

神戸大学大学院工学研究科 フェロー 川谷 充郎  
神戸大学大学院工学研究科 学生員 糸尾誠一郎

北海道大学大学院工学研究院 正会員 何 興文  
神戸大学大学院工学研究科 学生員 ○橋本 圭史

**1. 研究の目的** 著者らはこれまでの一連の研究において、高速鉄道高架橋－列車連成系の線形地震応答解析手法を確立し、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てきた<sup>1), 2)</sup>。これまでの解析における列車モデルは、定式化の簡単化を図るために車両間の連結を考慮していない。しかし、走行列車のより詳細な挙動を把握するには、車両の連結を取り入れる必要がある<sup>3)</sup>。将来の大規模地震時橋梁－列車連成系の相互作用を検討する際に、車両間の相対運動が大きくなる可能性があり、連結の影響も考慮する必要がある。そこで本論文では、車両連結の有無、連結ばね定数の違いによる地震時走行列車の動的応答への影響を検討する。

## 2. 車両間の連結を考慮した走行列車－橋梁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、列車は 15 自由度質点－ばね振動系モデルとする。橋梁の振動方程式にモード解析法を適用し、車両との連成振動を定式化<sup>1)</sup>し、Newmark- $\beta$  逐次積分法により動的応答を求める。

**2.2 橋梁モデル** 対象橋梁は RC 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、全で一節点 6 自由度を有する三次元はり要素でモデル化する。地盤での境界条件について、実測に基づく地盤ばねを考慮する。橋梁の減衰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、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 (Fig.2 参照)。車両間の連結を考慮するために、連結ばねを車両間の水平、鉛直方向に設定する。

**2.4 入力地震波** Fig.3 に耐震設計標準で定められた G1・G4 地盤に相当する地点での実測および標準における G4 地盤での Level 1 地震動を示し、Level 1 地震動の鉛直成分は水平成分の半分とする。解析時間は 10 秒とする。なお応答スペクトルに示す 0.402 秒と 0.455 秒はそれぞれ G1 と G4 地盤の橋梁、1.233 秒は車両の水平 1 次モードの固有周期である。

**2.5 解析ケース** 列車 (16 両編成、270km/h) が 75m の助走を経て対象橋を通過する際の連成振動解析を行い、最後尾車両前端

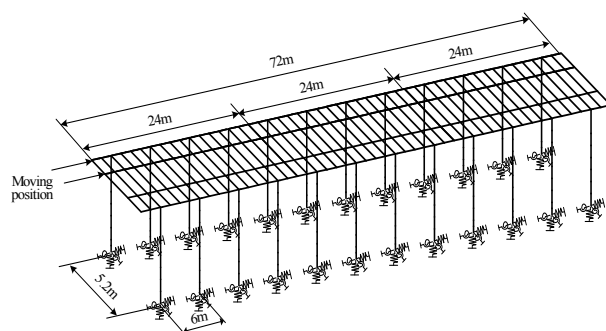


Fig.1 Bridge model

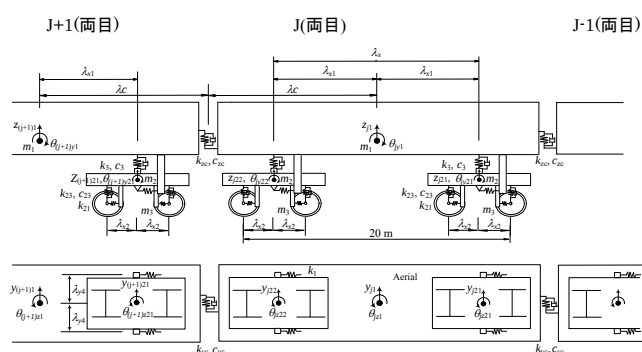


Fig.2 15 DOF train model with connection

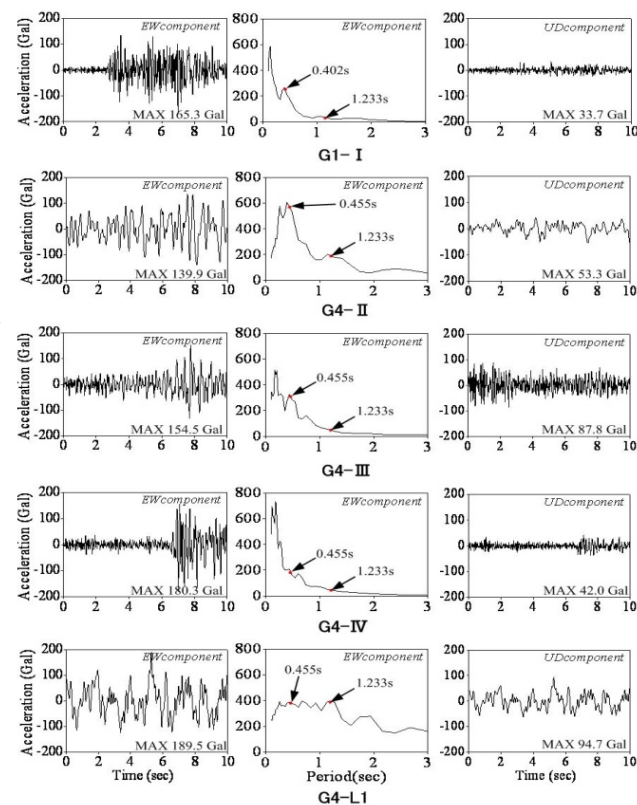


Fig.3 Ground motions

部の加速度応答と 15・16 両間の車体連結端部の相対変位に着目する。解析時間は 10 秒とするが、結果については最後尾車両が高架橋を通過する 1.3 秒間に着目する。連結ばねの定数については、参考文献<sup>4)</sup>による数値を基準にばね定数を変化させた 3 ケースを設定し解析を行う。

**3. 解析結果** 各解析ケースにおける最後尾車両前端部の水平方向の加速度応答を Fig. 4 と 5 に示す。地震波の特性によって応答の大小が異なり、橋梁水平 1 次振動モードの固有周期付近で応答スペクトルが大きい G4-II, G4-L1 においては、連結ばね定数を上げると増加している。これより車両間の連結による拘束と地震動の特性によって、車体の振動特性に

影響を及ぼしているのがわかる。各解析ケースにおける 15, 16 車両間における水平方向の相対変位を Fig. 6 と 7 に示す。橋梁水平 1 次振動モードの固有周期付近で応答スペクトルが大きい G4-II, G4-III, G4-L1 では他のケースと比べ連結を考慮すると小さい値となり、連結の拘束により相対変位を抑える現象を確認できる。

**4. まとめ** 本研究では車両間の連結を考慮した走行列車-橋梁連成系の地震応答解析を行った。連結の拘束と地震波の特性が車両応答に影響を及ぼしていることが確認でき、将来の大規模地震時橋梁-列車連成系の相互作用を検討する際は連結の影響も考慮する必要があることを確認した。

#### 参考文献

- 1) Xingwen HE, Mitsuo KAWATANI, Ryo SOBUKAWA and Seiji 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, pp.1-12 (CD-ROM), Kuala Lumpur, Malaysia, October, 2005.
- 2) 川谷充郎・何興文・山崎基記：鉄道高架橋地震応答における列車荷重の動的影響評価，鋼構造年次論文報告集 第 17 巻，pp. 451-458, 2009. 11.
- 3) 川谷充郎・何興文・山崎基記・糸尾誠一郎：車両間の連結を考慮した橋梁-列車連成振動解析，平成 22 年度土木学会関西支部年次学術講演会概要集，I-36, 2010.5.
- 4) 松本信之・田辺誠・涌井一・曾我部正道：非線形応答を考慮した鉄道車両と構造物との連成応答解析法に関する研究，土木学会論文集 A Vol. 63, No. 3, pp.533-551, 2007. 7.

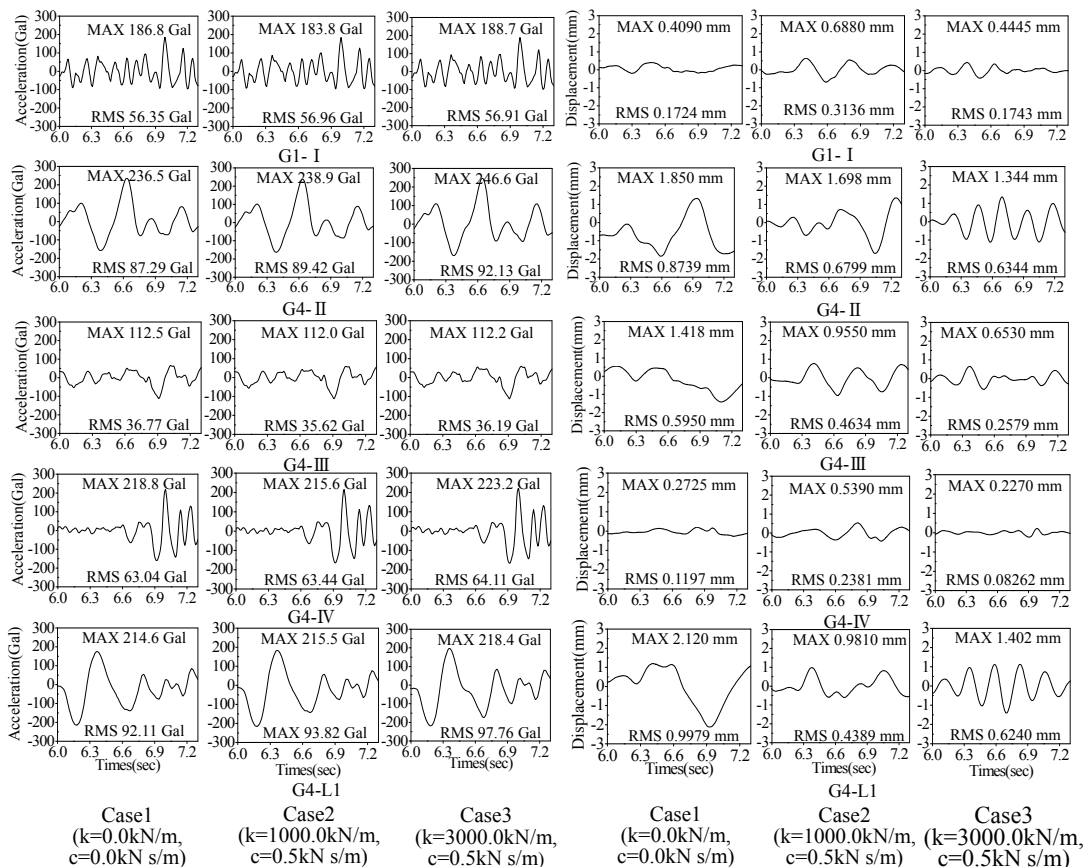


Fig.4 Horizontal Acceleration of 16<sup>th</sup> car

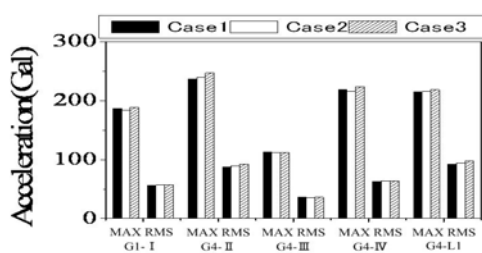


Fig.5 Max and RMS values of horizontal acceleration

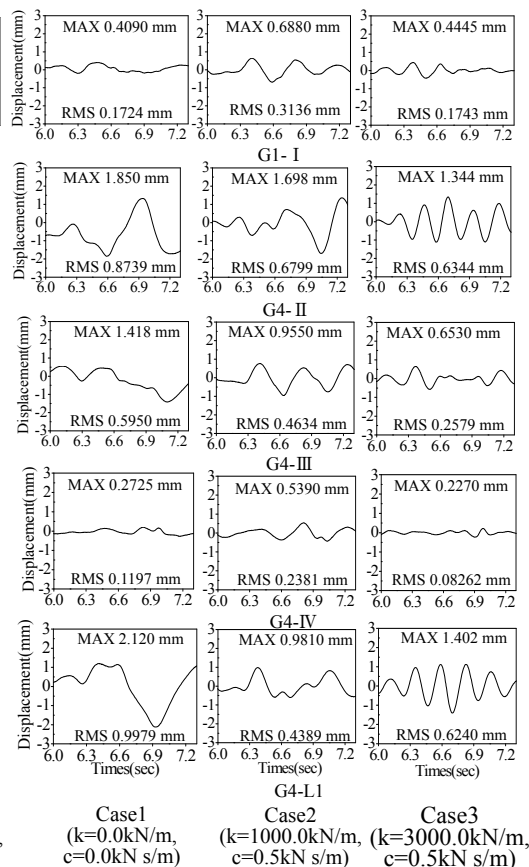


Fig.6 Horizontal relative displacement between 15<sup>th</sup> and 16<sup>th</sup> car

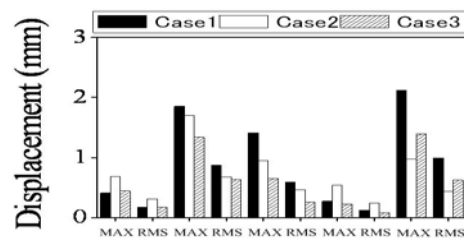


Fig.7 Max and RMS values of horizontal relative displacement