

高速鉄道高架橋一走行列車連成系の地震応答解析

神戸大学工学部 フェロー 川谷 充郎 神戸大学大学院 学生員 ○何 興文
 (株)日建設シビル 正会員 西山 誠治 神戸大学大学院 正会員 吉田 幸司
 神戸大学大学院 学生員 山口 将

1. まえがき 平成16年10月23日の新潟県中越地震で、新幹線開業以来初めて高架橋を走行中の高速列車が脱線する事態になった。鉄道高架橋では耐震設計において列車荷重を考慮しているが、地震時の列車走行安全性が非常に重要な検討課題であることが再認識された。このような現象の模擬実験による説明が難しい現状では、有効な対策を検討するために、まず橋梁一走行車両連成系の地震時挙動を解析的に説明する必要がある。この目標に向けて本研究では、まず耐震設計におけるL1地震動に相当する地震動に対し、橋梁一走行車両連成系の線形地震応答解析手法を開発し、橋梁および列車の応答を評価する。

2. 地震応答解析 **2.1 解析手法** 高架橋構造を有限要素でモデル化し、振動系である車両との連成振動の微分方程式をモード法により定式化する。地震荷重について、地震波の位相差を無視し、橋梁基礎における地震加速度に比例す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。

解析手法の妥当性について、車両モデルは橋梁振動の実測値と、橋梁の地震応答は汎用プログラムによる計算結果とそれぞれ比較して確認した¹⁾。

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に示すような有限要素にモデル化する。すべて一節点6自由度を有する三次元はり要素で、質量は節点集中質量とする。なお、レールと橋梁構造の間および橋脚下端部において、それぞれ枕木と地盤の影響を考慮するために二重節点を定義し、枕木および地盤ばねを設ける。Fig.1で示した三連モデルの中央ブロックにおけるCentral point(ブロック中央節点)について橋梁の応答を評価する。なお、橋梁の一次固有振動モード(橋軸直角水平モード)の周期は0.455sである。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常数を0.03とする。

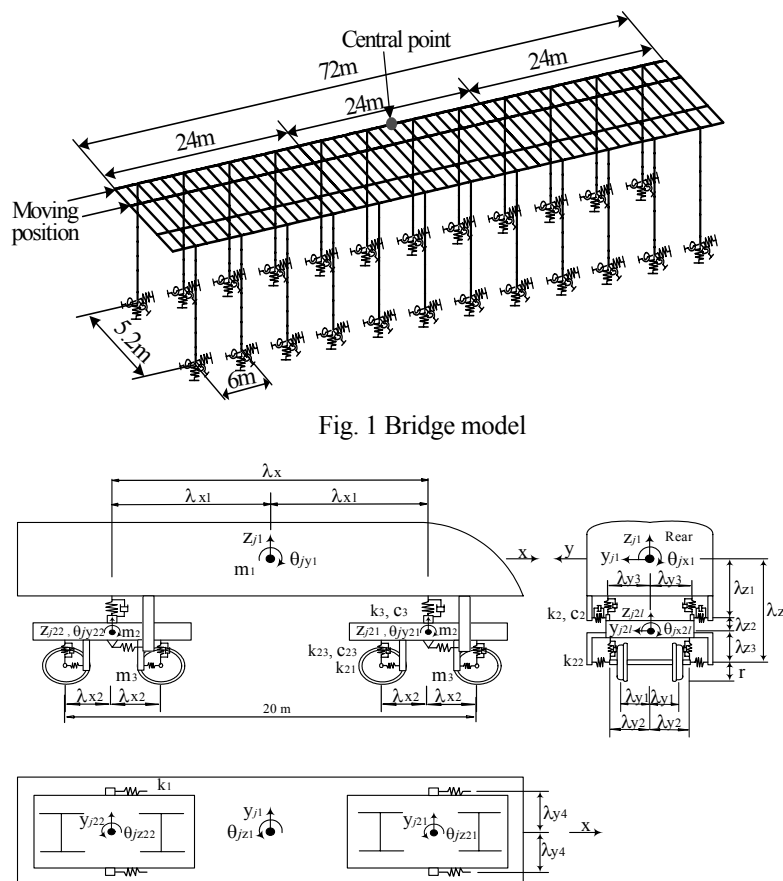


Fig. 1 Bridge model

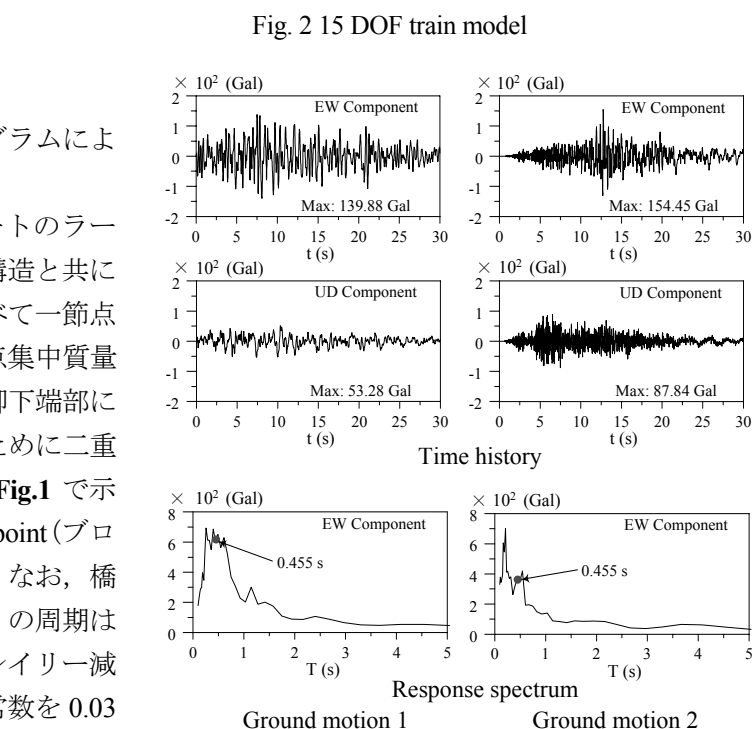


Fig. 2 15 DOF train model

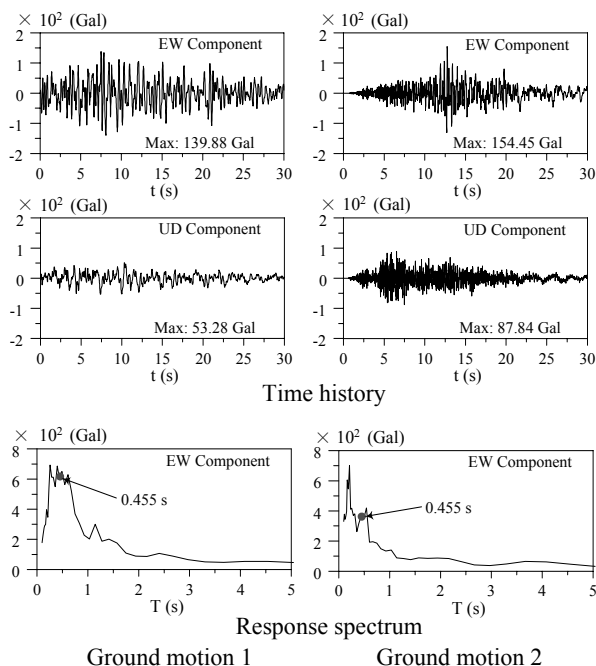


Fig. 3 Ground motion

キーワード：地震応答解析，列車走行安全性，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 神戸大学工学部建設学科 Phone:078-803-6383, Fax:078-803-6069

2.3 列車モデル 車両一両について、車体および台車の上下動、左右動および各軸回りの回転運動を考慮し、**Fig.2** に示す 15 自由度振動系にモデル化する。ここでは車輪とレールとの相対運動を無視し、変位を共有すると仮定する。列車の走行速度は営業速度の 270 km/h (75m/s) とする。ここで、通常の 16 両編成の列車は非常に短い時間で 72m の橋梁を通過するため、橋梁-車両連成系の地震応答を十分に評価できない。そこで本解析では、地震動を受ける間に列車が絶えず橋梁上を走行するとし、車両の応答については、三連橋梁モデルの中央ブロックを通過中の車両に着目する。この場合、車両の初期振動を考慮するため、すべての車両は橋梁の手前 75 m の地点からスタートとし、助走距離を設ける。

2.4 地震波 本解析に用いる地震波は、橋梁の地盤条件に応じた K-net による観測地震波の中から、加速度応答スペクトル特性が異なる二波を選ぶ。**Fig.3** は 2003 年 9 月 26 日に北海道勇払郡穂別町 (Ground motion 1) および 2005 年 3 月 20 日に佐賀県佐賀市栄町 (Ground motion 2) で記録された地震波の EW および UD 成分をそれぞれ示す。ここで、応答スペクトルを求める際の減衰定数は 0.03 とする。解析に当たって、列車の応答を評価するために、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る。解析時間は 30 秒とする。

3. 解析結果 橋梁の応答は、橋軸直角水平方向について Central point における加速度および変位時刻歴を **Fig.4** にそれぞれ示す。ここで、橋梁の一次固有振動数における加速度応答スペクトルが卓越する地震波 (Ground motion 1) に対して橋梁の加速度応答が非常に大きいことが分かる。**Fig.5** にそれぞれの地震波に対して橋梁モデルの中央ブロックを通過する車両の車体の水平および鉛直応答をそれぞれ示す。

なお、車両の走行安全性を評価するために、車両の応答をもとに脱線係数を算出する。脱線係数は各車輪における横圧と輪重の比で表現する。脱線係数は通常 0.8 以下であれば安全であるとされている。**Fig.6** は前台車前軸の左輪における脱線係数を示す。この結果から、本解析に用いた地震波に対して列車走行安全性は確保されていることがわかる。

4. まとめ 本研究では、15 自由度列車モデルを構築し、K-net による観測地震動に対して橋梁-走行車両連成系の線形地震応答解析手法を確立した。そしてこの手法を用いて地震時の橋梁および車両の応答をシミュレーションした。さらに車両の地震応答に基づき、列車の脱線係数を算出し、地震時列車の走行安全性を確認した。謝辞: 本研究で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。ここで感謝の意を表す。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, Kuala Lumpur, Malaysia, 10-11 October 2005. (CD-ROM)

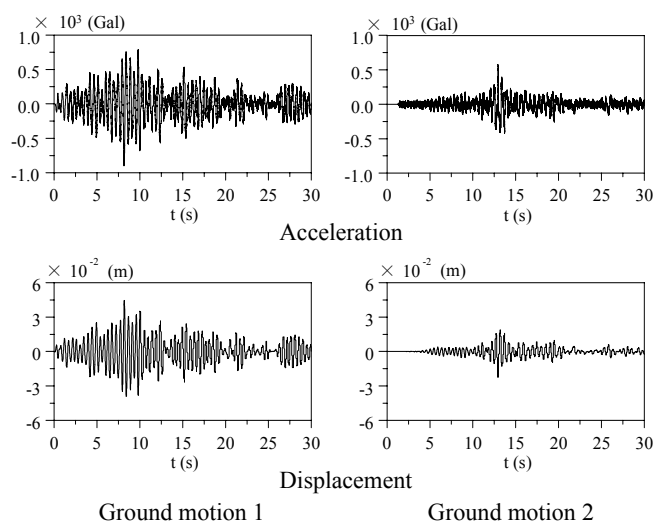


Fig. 4 Dynamic responses of bridge

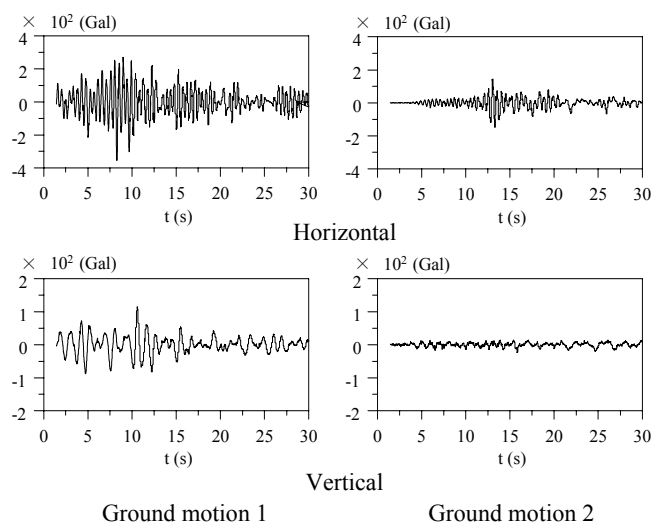


Fig. 5 Responses of train body

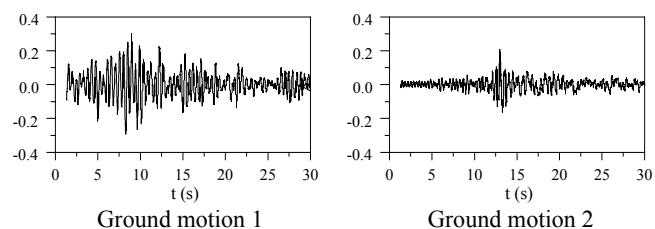


Fig. 6 Derailment coefficient