

列車との相互作用を考慮した高架橋橋脚地震耐力評価

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. はじめに 阪神大震災や新潟県中越地震において、広範に渡る鉄道高架橋構造物、特に橋脚が深刻な被害を受け、その耐震安全性の確保は極めて重要な課題になっている。現行の鉄道高架橋の耐震設計において、列車荷重は橋梁構造物の付加質量として扱っているが、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動的影響はさらに検討する必要がある。本研究では、まず線形範囲内の橋梁-列車連成系の地震応答解析手法^{1,2)}を示し、高速鉄道高架橋橋脚の地震耐力評価における列車荷重の動的影響を評価する。

2. 解析理論 2.1 橋梁-列車連成系地震応答解析 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。列車は車両一両について、Fig.2に示すように15自由度振動系にモデル化する。対象橋梁はRCラーメン高架橋とし、橋脚下端部における地盤の境界条件について変化させ、地盤ばね¹⁾を考慮したG4³⁾地盤モデルおよび橋脚下端を固定したG1³⁾地盤モデルの二ケースを考える。橋梁応答はCenter point、耐震性評価はLeft 1 pierについて照査する。地震荷重について、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's β 法を用いる逐次積分により求める¹⁾。

2.2 橋脚断面力の評価 まずRC橋脚のコンクリートのひび割れ耐力、主鉄筋の降伏耐力といった断面耐力を算出して、橋脚の破壊形態を判定する。そして、地震応答解析から得られる地震時部材の断面力と断面耐力とを比較することにより、部材の耐震性能の照査を行う。

2.3 入力地震波 入力地震波は耐震設計標準³⁾で定められたG4およびG1地盤のそれぞれにおけるLevel 1地震動(G4-L1, G1-L1)およびK-netによる観測地震波からG4地盤条件に応じた2波(G4-I, G4-II)を用いる。Fig.3に地震動の時刻歴波形および応答スペクトルを示す。なおLevel 1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⁾。

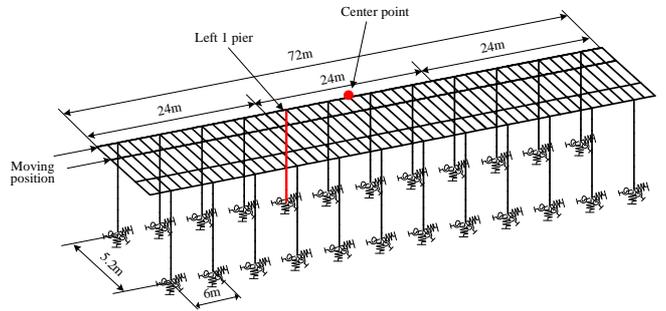


Fig.1 Bridge model

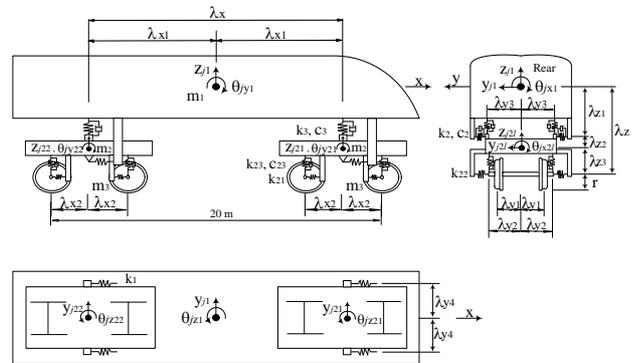


Fig.2 15 DOF train model

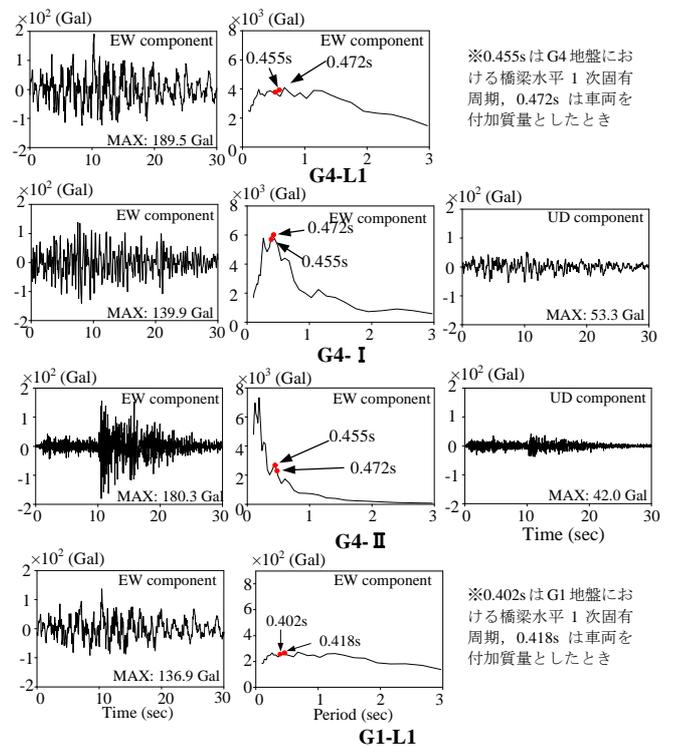


Fig.3 Ground motions

キーワード：高速鉄道高架橋，地震応答解析，耐震性能，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

2.4 解析ケース 列車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 地震応答

各解析ケースの橋梁水平加速度応答のMAX値およびRMS値をFig.4に示す。地震波によって応答の大小が異なり、特にG4-I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。

3.2 橋脚断面力の評価

本解析では全解析ケースにおいて、耐震設計標準³⁾での定義により、橋脚Left 1の破壊形態は曲げ破壊型であることが確認されたため、橋脚の耐力評価は曲げモーメントによって照査する。耐震性能の評価については、橋脚基部について照査を行う。Fig.5に照査結果を示す。ここで、 M_z

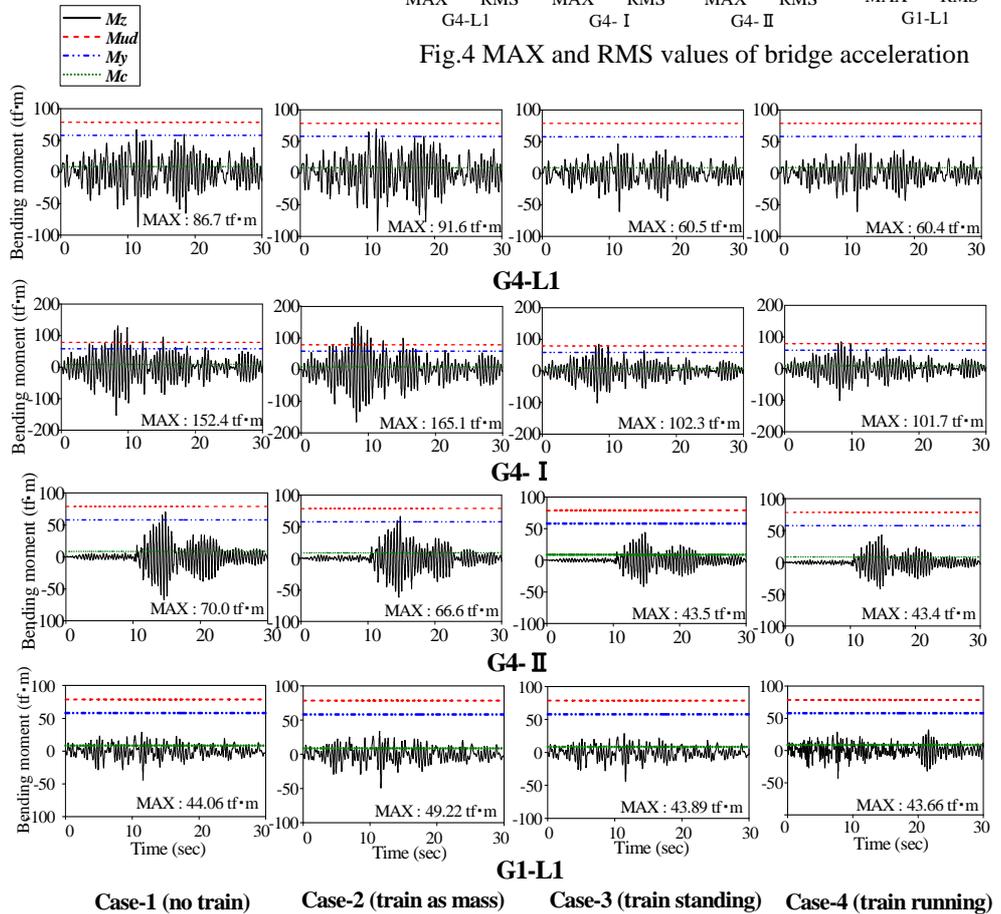
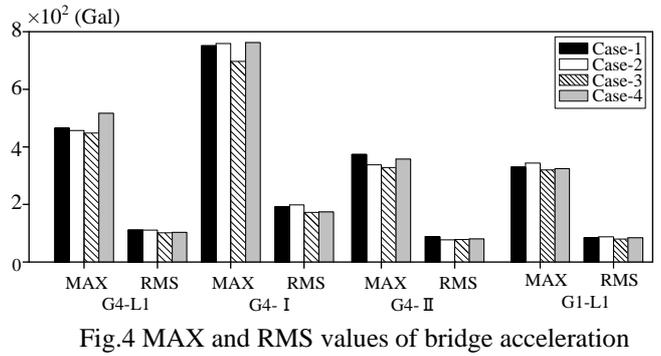


Fig.5 Examination of seismic performance in terms of bending capacity

は動的応答、 M_c はひび割れ曲げモーメント耐力、 M_y は鉄筋降伏耐力、 M_{ud} は設計曲げモーメント耐力を表す。Fig.5の結果から加速度応答結果同様、地震波によって断面力が異なり、特にG4-Iにおいて比較的大きな断面力が発生し、線形範囲を大幅に超えている。これらは線形解析結果であるが、地震応答の傾向を見る限りにおいて有益であると考えられる。ケースごとの比較では、主にCase-1および2がCase-3および4に比べ大きな断面力が発生しており、これは車両がダンパーとして働く現象が影響していると考えられる。G4-IIでCase-1が最も大きな断面力を示すのに対し、ほかの3波ではCase-2が最も危険と判断できる。この結果から、車両を単に付加質量として考慮することは、橋梁耐震性能を安全側に評価するだけでなく過小評価する可能性もあることが伺える。また、G4地盤上に比べG1地盤上の応答は小さくなっている。

4. まとめ 本研究では、橋梁と列車との動的相互作用を考慮した鉄道高架橋地震応答解析より、鉄道高架橋地震応答および橋脚地震耐力における列車の動的影響を異なる地盤条件下で評価した。橋梁の地震応答を正確に評価するために、列車は単純に付加質量ではなく、振動系として考慮する必要性を示した。

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, 平成20年度土木学会第63回年次学術講演会概要集, I-103, 2008.9.
- 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.