車両を考慮した曲線桁の地震入力方向変化による地震応答特性

神戸大学大学院　フェロー　川谷　充郎　　京都大学大学院　正会員　金　哲佑
神戸大学大学院　学生員　島田　翔二　　神戸大学大学院　学生員　○谷口　貴俊

1. はじめに　曲線桁橋の地震応答について，その曲率半径や支承の配置方向などの構造から，一般的に直線桁橋で卓越する橋軸方向あるいは橋軸直角方向に応答が卓越するとは限らず，加震方向の検討を要する [1), 2)]．また，車両が橋梁の振動に対してダンパーとして働くことがあるが [3)]，道路橋では車両載荷状態が多様であり，曲線桁橋の挙動に対する車両載荷の影響について把握することが求められる．本研究では，水平運動も考慮できる 12 自由度振動系車両モデルを用い，地震波の加震方向を変化させて地震応答解析を行う．加震方向に対する卓越応答と曲線桁橋の挙動への車両存在の影響を把握するため，車両無載荷，車両載荷，車両走行の 3 ケースで比較・検討を行う．

2. 解析手法　2.1 橋梁モデル　対象橋梁は，姫路市に位置する連絡道路ランプ橋である．支間長 42.18m，主桁の曲率半径 38.81m の 1 径間曲線桁橋(Fig. 1)で，1 節点 6 自由度を有する梁要素でモデル化し，質量は整合質量とする．梁部材および支承の中立軸の相違をオフセット部材により考慮する．地震時の減衰はレイリー減衰とし，1 次と 2 次の振動モードに対して減衰定数を 0.05 とする．桁の両端の支承同士を結んだ方向を X 方向，その水平直角方向を Y 方向，鉛直方向を Z 方向とする．A1 支承の X・Y 方向，A1 アウトリガーの X 方向と，支承・アウトリガーの回転の全方向について拘束しない．考慮するモード次数は 12 次（48.0Hz）までとし，積分時間間隔は 0.001sec とする．

2.2 車両モデルと載荷ケース　大型ダンプトラック（重量：196kN）を水平運動も考慮する 12 自由度振動系車両にモデル化し，内側耳桁から 3.03m の位置を走行させる．車両無載荷(case-0)，車両停車時(case-1)：5 台載荷，車両走行時(case-2)：5 台載荷/走行速度 10km/h(Fig. 2)とし，それぞれ車頭間隔を 8m とする．

2.3 地震波　使用する地震波は，道路橋示方書 [4)] に規定されているⅡ種地盤の振幅調整波(Fig. 3)とする．解析の際には地震波の水平成分と鉛直成分の両方を考慮し，鉛直成分は水平成分の半分とする．加震方向は X 方向から反時計回りに 10°間隔で 0°から 180°までとする．

3. 解析結果　3.1 固有値解析結果　橋梁の固有値解析結果について，実測時の状況を再現した A2 支承に 98.1MN/m のばねを考慮するモデルにより，1 次(2.058Hz)，2 次(4.333Hz)，3 次(6.870Hz)となり，実測から得られた曲げ卓越型 2.1Hz，ねじり卓越型 7.6Hz よりも小さくなり，妥当な解析モデルだと言える．支承にばねを考慮しない場合は，1 次(2.065Hz)，2 次(4.584Hz)，3 次(9.084Hz)となる．

3.2 曲線桁橋における地震波の入力方向に関する検討　case-0 と case-1 における地震波の入力方向が曲線桁橋に与える影響について検討する．各方向に加震したときの主桁スパン中央における加速度と A1 支承における鉛直反力を Fig. 4 に示す．橋軸方向の加速度(Fig. 4(a))においては，橋軸方向の加振時に最も大きな応答を生じる傾向がある．これは，支承境界条件において橋軸方向には対称であることが原因である．橋軸直角方向(Fig. 4(b))に関しては，70°～80°に加震時に最大応答となる．これは，境界条件が固定側と可動側で非対称となっていることから，最も揺れが大きくなる固

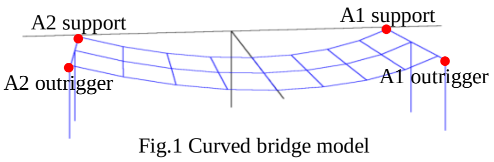

Fig.1 Curved bridge model

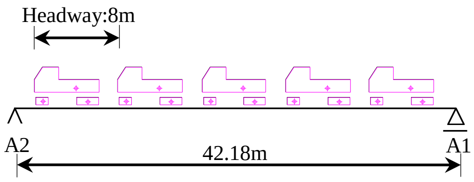

Fig.2 Case-1，2

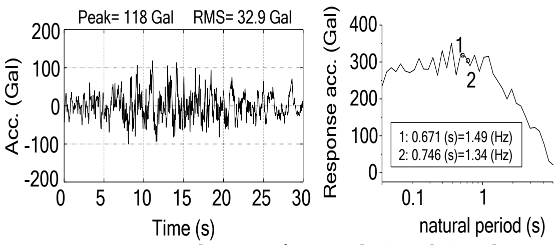

Fig.3 Acceleration of JRA code (Level-1) and seismic response spectra of acceleration : moderate soil site (Group-Ⅱ)

キーワード　曲線桁橋，地震応答解析，レベル 1 地震動，加震方向変化，ダンパー効果，鉛直反力
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 TEL078-803-6383

定支承の設置方向への加振が卓越すると考えられる．一方，鉛直方向の応答であるスパン中央加速度(Fig.4(c))と支承反力(Fig. 4(d))においては，境界条件としては対称であるものの 30～70°の間で卓越し，曲線桁特有のねじり挙動の影響が大きいことが考えられる．

<u>3.3 曲線桁橋の動的応答に与える載荷車両の影響</u>　70°方向に卓越している傾向があるため，70°方向加震時の応答波形(Fig. 5)を示し，車両のダンパー効果について検討する．橋軸直角方向加速度について，車両を載荷もしくは走行させると応答が低減し，無載荷と走行では PEAK 値が約 9%，R.M.S 値が約 8%減少している．鉛直方向加速度について，車両を載荷もしくは走行させると PEAK 値と R.M.S 値が共に増加する．これより，水平方向の加速度の方にダンパー効果が表れているといえる．

4. 結論　本研究では，曲線桁橋において地震の加震方向に対する卓越応答について検討する．水平方向の応答については支承の境界条件に依存して卓越する加振方向が決まる傾向にあり，鉛直方向の応答についてはねじれ挙動の影響が強く，卓越する加振方向が一意的でないことがわかる．また，橋梁－車両連成系により車両無載荷，車両載荷，車両走行の 3 ケースでダンパー効果について検討する．鉛直方向加速度は応答が増加する傾向があるが，水平方向ではダンパー効果による低減が大きくなる．

今後は，高架橋モデルにより，地震波の卓越する入力方向について検討する．また，設計を視野に入れ，車両の存在が橋梁の耐震性能にどのような影響を与えるかについて明らかにする．

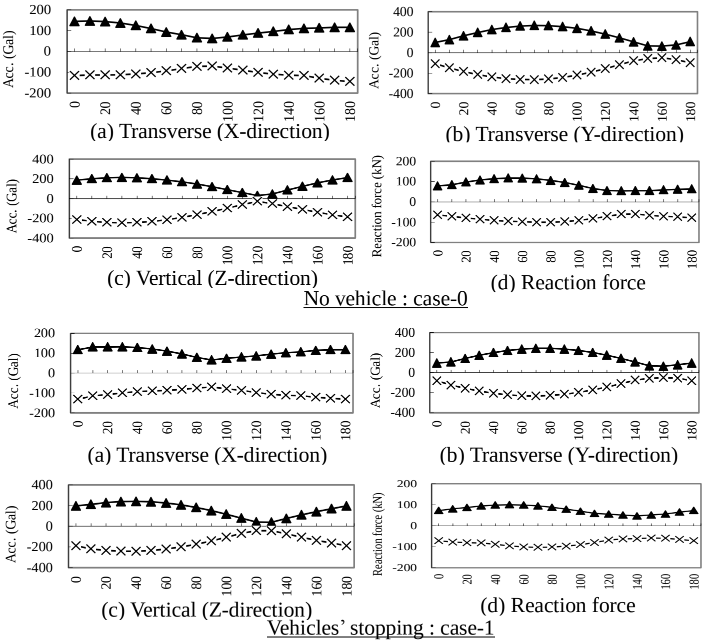

Fig.4 Max and min value of dynamic response
(acceleration at span center and reaction force at A1 support)
by changing seismic input direction (▲：Max，×：Min)

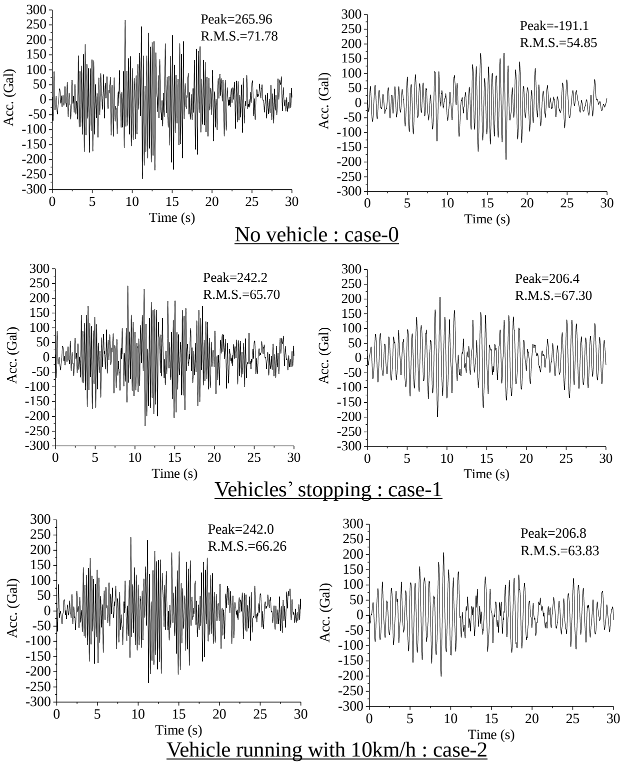

Fig.5 Dynamic response (acceleration at span center and reaction force at A1 support) (seismic input direction : 70°)

参考文献

1) 林川俊郎，荻島知之，橋本 至：地震波の入力方向と支承条件を考慮した曲線高架橋の非線形動的応答に関する基礎的研究，構造工学論文集，Vol.48A，pp.789-798，2002.3.
2) 川谷充郎，金　哲佑，島田翔二，谷口貴俊：支承挙動に着目した曲線桁橋の地震入力方向変化による動的応答特性，土木学会第 66 回年次学術講演会，Ⅰ-673，2010.9.
3) 川谷充郎，金　哲佑，岩下謙司，安井克典：橋梁－車両連成系を考慮した高架道路橋の地震応答解析，土木学会論文集，Vol.64，No.4，pp.678-691，2008.11.
4) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説　Ⅴ耐震設計編，2002.3.