車両を考慮した曲線桁高架橋の地震応答特性

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　山本有由美　　神戸大学大学院　学生員　○横山　晋矢

1. 序論　現行の耐震設計では自動車荷重の組み合わせを考慮していない．しかし，都市部高速道路のように自動車交通量が多い道路橋においては大型車両混入率の高まりともに渋滞が頻発しており，地震が発生する場合に比較的大きな活荷重が同時に作用する可能性がある．本研究で対象とする曲線桁高架橋は，都市部高速道路で多く用いられ，湾曲する構造や支承の配置方向などの影響により動的応答が複雑となる．そこで，研究室開発プログラムを用いて支承の配置方向を変化させ解析モデルの妥当性を確認し，曲線桁高架橋の橋梁－車両連成系を考慮した地震応答特性について検討する．また，汎用解析プログラムを用いて，L2 地震動作用下における非線形性を考慮した曲線桁高架橋の挙動について曲率半径を変化させた場合に車両質量が橋梁の地震応答特性に及ぼす影響を検討する．

2. 曲線桁高架橋-車両連成系の地震応答

2.1 橋梁モデル

橋梁モデルは林川らの論文[1)]から引用する 2 径間曲線桁高架橋(**Fig. 1**)とする．橋長 80m，主桁曲率半径 100m，1 径間当たり総重量 3,408kN の鋼 I 型断面 3 主桁とする．橋脚両端を結ぶ方向を X，その水平直角方向を Y(a)および右端支承の接線方向を X’方向，その水平直角方向を Y’(b)，鉛直方向を Z 方向とする 2 種類のモデル(Fig.2)を用いる．左端の支承を固定支承，それ以外の支承を可動支承とし，支承の可動方向はそれぞれのモデルにおいて X, X’方向とする．橋脚は高さが 20m の正方形箱形断面を有する鋼製橋脚とする．橋脚の基礎は十分に剛であるとし，固定とする．減衰はレイリー減衰とする. モード次数は 17 次まで考慮し，積分時間間隔は 0.001sec とする．固有値解析を行い，その結果と引用する論文(Ref.)の 1 次から 6 次までの固有振動数を **Table 1** に示す. 2 つのモデルを比較すると固有振動数は類似しており, 論文と比較すると X’方向可動とする方がわずかに近い値となっており，論文の結果を概ね再現でき，橋梁モデルの妥当性を確認できる．

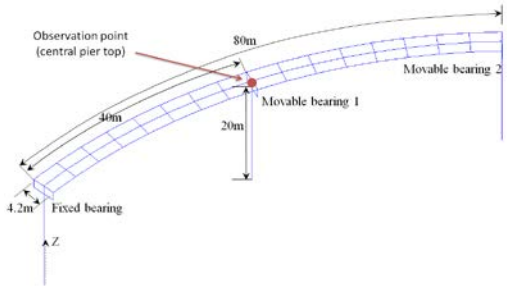
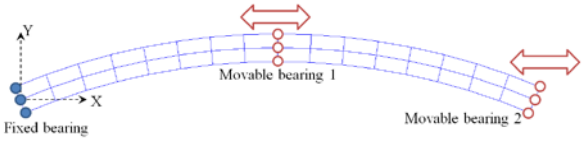
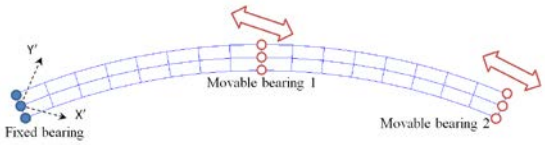


Fig. 1 2-span curved highway viaduct



(a) X model



(b) Tangential model

Fig. 2 Movable direction’s model

Table 1 Natural frequency

mode	Natural frequency(Hz)		
	Program developed by lab		Ref.(tangential/radial configuration)
	X-direction	Tangential direction	
1	0.9476	0.9434	0.9470/0.9980
2	1.384	1.408	1.563/1.563
3	1.711	1.740	
4	2.003	1.967	
5	2.841	2.840	2.703/2.786
6	2.534	3.364	

2.2 車両モデル　車両モデルは 12 自由度振動系車両モデルとする．車両の載荷状態は，車両無載荷，付加質量系車両(橋梁に 10 台分の質量を付加), 振動系車両停車(10 台), 振動系車両走行(地震波の入力時常に 10 台走行，速度は 10km/h)とする．車両を載荷する場合(Fig. 3)，載荷位置は桁幅中央，車頭間隔は 8m とする．

2.3 入力地震波　地震波は道路橋示方書に規定されているもので，L1 地震動，Ⅱ種地盤の観測波形を設計応答スペクトルに合うように振幅を調整した振幅調整波とする．

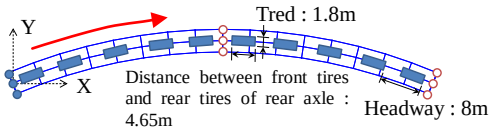


Fig.3 Live load on viaduct

キーワード　曲線桁高架橋，車両載荷，地震応答，非線形解析，曲率半径
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　TEL 078-803-6383

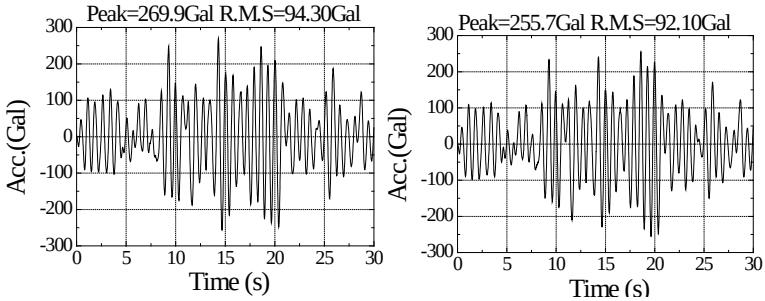
2.4 解析結果　それぞれの車両の載荷状態でY方向加振時の中央橋脚天端のY方向加速度を**Fig. 4**に示す．(a)は支承の可動方向をX方向とする場合，(b)は接線方向とする場合の加速度応答である．(a)と(b)を比較するとすべてのケースにおいて(b)のPeak値，RMS値ともに(a)より小さくさり，加速度応答の挙動はおおむね一致している．支承の可動方向の違いにより，固有振動数は引用論文にやや近くなるが応答への影響は顕著ではない．(a)，(b)ともに車両載荷により応答は小さくなるが，(a)のほうが車両による最大加速度応答の減少率がやや大きいといえる．

3. 非線形性を考慮した曲線桁高架橋の地震応答

3.1 橋梁モデル　**Fig. 2(b)**に示す橋梁モデルと同一のモデルを用いる．曲率半径を100m，200m，10,000mと変化させ非線形性を考慮した曲線桁高架橋の地震応答を検討する．このときの非線形特性は，降伏モーメントを4465.2tonf×m，剛性低下率を0.01とする．車両を考慮する場合，付加質量系車両とし，車両10台分の質量を橋梁に配分し付加する．

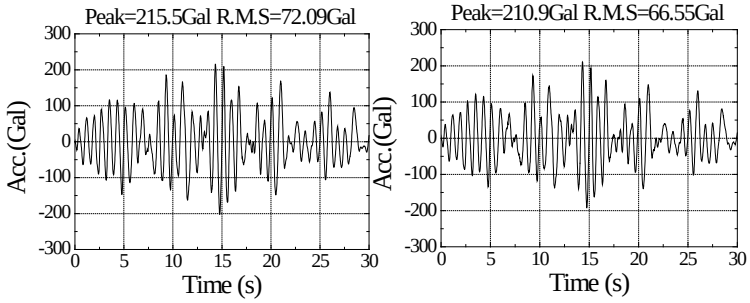
3.2 入力地震波　地震波は道路橋示方書に規定されているL2地震動のタイプⅡ，Ⅱ種地盤の観測波形を設計応答スペクトルに合うように振幅を調整して求めた3つの加速度波形を用いる．

3.3 非線形地震応答　曲率半径を変化させ，車両無載荷と載荷状態でそれぞれの地震動をY方向に作用させたときの中央橋脚天端におけるY方向加速度のPeak値とRMS値を**Fig. 5**に示す．車両質量考慮により応答加速度は減少する場合が多い．また，曲率を有する高架橋のほうが車両質量による応答加速度の変化率が大きい．図を示していないが応答変位についてはすべてのケースにおいて車両質量を考慮した場合にPeak値は大きくなっているが残留変位は小さくなる傾向がある．類似した加速度応答スペクトル特性を有する地震動であっても，急な曲率を有する高架橋において車両の質量付加により応答に違いが生じる．



(a) X-directional configuration　(b) Tangential configuration

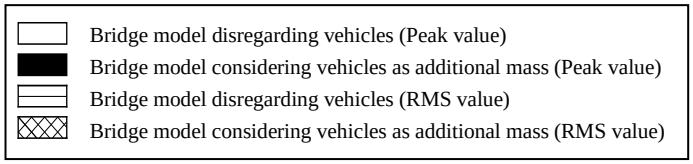
(i) Disregarding vehicles

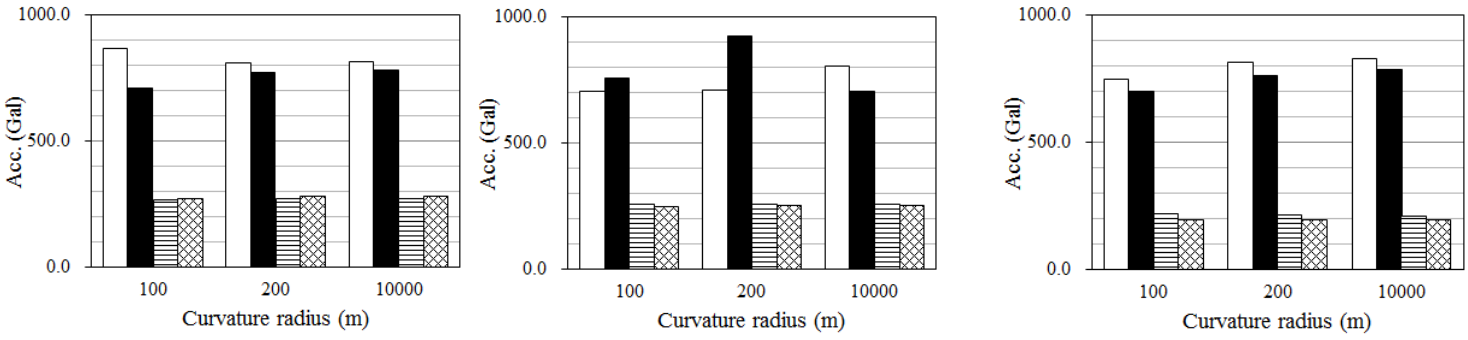


(a) X-directional configuration　(b) Tangential configuration

(ii) Vehicles running

Fig. 4 Y directional acc. at central pier top





(i) Type Ⅱ - Ⅱ -1　(ii) Type Ⅱ - Ⅱ -2　(ii) Type Ⅱ - Ⅱ -3

Fig. 5 Peak and R.M.S values of Y directional acc.at central pier top by Y direction of ground motion by change of curvature radius (100m, 200m, 10,000m)

参考文献

2)　林川俊郎，大嶽敦郎，中島章典，佐野雅章：3成分大地震動を受ける連続曲線高架橋の非線形応答解析，構造工学論文集，Vol.45A，pp.849-858，1999.3.