地震波の周波数特性が大型車両載荷時の道路桁橋地震応答に及ぼす影響

神戸大学大学院　フェロー　川谷　充郎　　神戸大学大学院　正会員　金　哲佑
神戸大学大学院　学生員　○小中　慎平　　神戸大学大学院　学生員　北浦　利依

１．目的　道路橋示方書の耐震規定では活荷重と地震荷重の同時発生確率は低いため,その組合せは考慮しないものとしている[1)]．しかし,近年の都市高架橋では慢性的な交通渋滞状況にあることに加え,大型車両の混入率も高まっていることにより,耐震性能における大型車両の影響を明らかにする必要があると考えられる[2)]．著者らの既往の研究では地震波の地盤種別による影響を示し，地震波の種類により車両振動系が橋梁の地震応答に及ぼす影響が変わると考察している[3)]．その考察では大型車両の影響現象を説明するまでは至っていない．そこで，本研究では単一振動数を持つ正弦波を入力波として用い，地震波の周波数特性による大型車両が橋梁の応答特性に及ぼす影響を明らかにする．また，一般高架橋に比べ相対的に交通渋滞の発生確率が高く，死荷重に対する活荷重の比が大きい入路橋についても検討を行う．

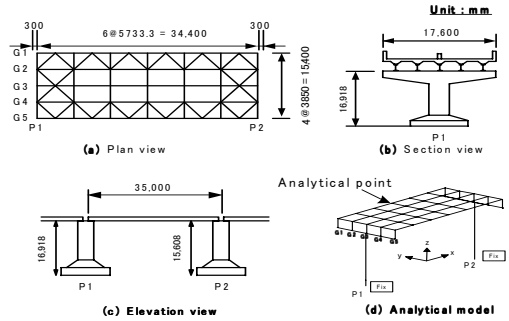
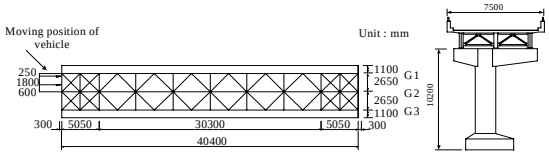
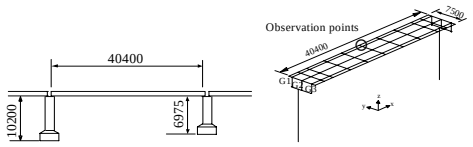


Fig.1 Viaduct bridge model



(a) Plan view　　(b) Section view



(c) Elevation view　　(d) Analytical model

Fig.2 Entrance bridge model

２．応答解析　**2.1 解析手法：**　入力波を橋梁モデルと車両モデルの全節点に慣性力として同時に作用させ,橋梁‐車両連成系の運動方程式をモード法により定式化し,Newmark-β法により解を求める. 解析手法の妥当性は,参考文献 4)で行われた起振機を用いる振動実験に関して,橋梁の地震応答に及ぼす車両の動的な結果を再現することで確認している．**2.2 解析モデル：**　Fig.1 および Fig.2 に示すような 2 つの橋梁を検討対象とする．Fig.1 に一般的な都市高架橋の単純支持桁 1 径間を，Fig.2 に Fig.1 の橋梁より相対的に死荷重が小さい入路橋を示す．それぞれの橋脚基部は地盤に固定する．解析のモード次数は約 20Hz までを考慮し,高架橋モデルでは 17 次(23.2Hz)まで,入路橋モデルでは 20 次(20.3Hz)までとする．**2.3 車両モデル：**　車両モデルは 12 自由度振動系を用いる[3)]．

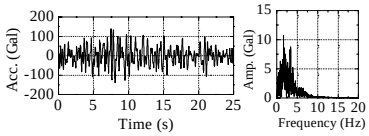


Fig.3 Ground motion

３．正弦波解析　橋梁の固有振動数および橋梁の車両付加質量時の固有振動数を考慮して，1.3Hz から 2.5Hz までを 0.1Hz 刻みにさらに 1.5Hz から 1.7Hz の範囲を 0.01Hz 刻みに詳細に検討する．さらに，車両の水平振動モードに相当する 2.38Hz を加えて解析する．

４．地震波解析　Ⅱ種地盤上の観測地震波(観測点:北海道穂別町，2003/9/6)を解析に用いる．地震波形を Fig.3 に示す.

５．解析ケース　正弦波解析, 地震波解析ともに車両無載荷時,車両を付加質量として考慮した場合,車両振動系停車時（片側 1 車線に停車：車頭間隔 8m）,車両振動系走行時（片側 1 車線を速度 10km/h で走行：車頭間隔 16m）の全 4 ケースについて検討を行う. 走行時の解析では実測された路面凹凸データを用いる. ただし，高架橋モデルを用いた検討で車両振動系走行時における走行の動的な作用よりも車両の載荷台数の影響が大きいことが確認されたため，入路橋モデルでは車両振動系走行時を除いた 3 ケースについて解析を行う.

６．解析結果　Fig.4 に高架橋モデルの入力正弦波に対する橋梁加速度応答の RMS 値を示す．それぞれの解析ケースにおける最大 RMS 応答は各固有振動数付近(車両無載荷時:1.64Hz および車両付加質量系:1.59Hz)に現れている．車両無載荷時と比較すると他 3 ケースは概ね低減の傾向が読み取れる．ここで,

キーワード　橋梁―車両連成系，地震応答解析，周波数特性
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

車両の存在効果に着目すると，車両を振動系として考慮した場合には車両と橋梁の減衰の違いから車両がダンパーとして働き，橋梁の応答を低減すると考えられる．次に，Fig.5 に入路橋モデルの入力正弦波に対する橋梁加速度応答の RMS 値を示す．入路橋モデルにおいても，高架橋モデルの場合と同様の考察ができる．車両無載荷時および車両付加質量系ではそれぞれの 1 次固有振動数付近(車両無載荷時:1.87Hz および車両付加質量系:1.65Hz)で橋梁の応答が最も大きくなっている．さらに車両の存在効果についても高架橋モデルと同じく車両がダンパーとして働き，橋梁の応答が低減している．一方,入路橋は高架橋に比べて死荷重に対する活荷重の比が大きいため，車両が橋梁に与える影響が顕著に働き，高架橋よりも大きな低減が表れたものと考える．また，入路橋モデルで特記すべきこととして車両振動系停車時の応答のピークが 1.7Hz 付近と 2.3Hz 付近の二箇所に現れていることである．これは，それぞれ橋梁および車両の水平1次固有振動数付近であることに注目したい．入路橋モデルの場合活荷重の比が大きいこと,すなわち車両の影響を受けやすいことから車両の水平 1 次固有振動数付近での車両振動の影響が橋梁の応答に現れた結果だと考えられる．ここで着目すべき点は，車両の 1 次水平固有振動数付近の振動数で車両を振動系として考慮することで橋梁単独系よりも橋梁の応答が大きくなっていることである．なお，Fig.6 に観測地震波に対する車両無載荷時と車両振動系停車時の橋梁加速度応答波形を示す．これらの波形から観測地震波を用いた解析であっても，上で述べたように入路橋は高架橋に比べて車両の存在による低減が相対的に大きく表れることが示されている．

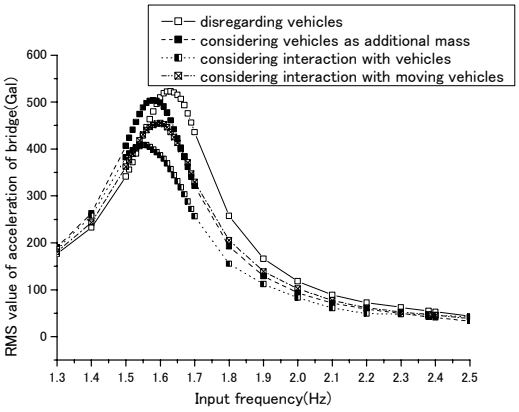


Fig.4 RMS value of the viaduct bridge

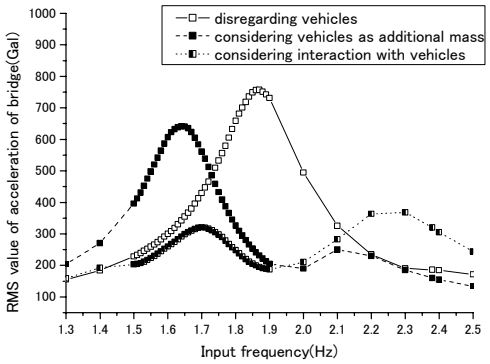
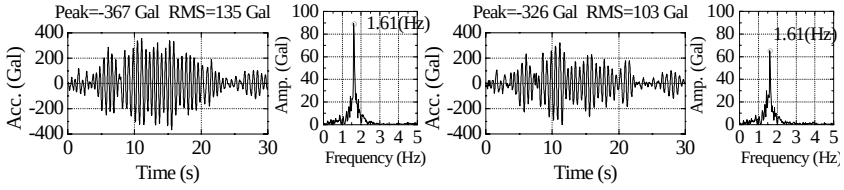
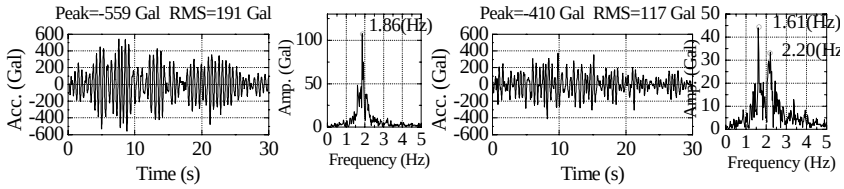


Fig.5 RMS value of the entrance bridge



ⅰ) Viaduct bridge model



ⅱ) Entrance bridge model

(a) Bridge model disregarding vehicles **(b) Bridge model considering vehicle as a dynamic system**

Fig.6 Transverse absolute acceleration of bridge under Ground motion

7. まとめ　本研究により車両を振動系として考慮した場合には，特に橋梁の固有振動数付近で車両のダンパーとしての働きが強調され橋梁の応答が低減すると考察される．また，橋梁の構造形式によって地震波の卓越周波数が橋梁―車両連成系に与える影響は異なるということが明らかになった．入路橋のように上部工質量が小さな橋梁では高架橋に比べて車両の影響を受けやすいということがわかった．

謝辞：本研究は，(独)日本学術振興会科学研究費補助金基盤研究（B）No.17360213 および（財）ひょうご科学技術協会一般学術研究助成金(H.17-19 年度)の補助を受けた．また，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．ここに感謝の意を表す．

参考文献

1） 日本道路協会：道路橋示方書・同解説，Ⅴ耐震設計編，2002.3.
2） 亀田弘行，室野剛隆，南荘淳，佐々木伸幸：橋梁―車両連成系による道路橋の地震応答特性，土木学会論文集，No.626/I-48, pp.93-106,1999.7.
3） 川谷充郎，金哲佑，安井克典，小中慎平：設計活荷重相当車両列が橋梁の地震応答に及ぼす影響，土木学会第 62 回年次学術講演会講演概要集，1-433，2007.9.
4） 阪神高速道路公団，（財）阪神高速道路管理技術センター：阪神高速道路旧梅田入路構造物に関する調査研究報告書，1992.4.