第Ⅰ部門　　地震波の周波数特性が道路桁橋 - 車両連成系の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.まえがき　道路橋示方書(以下，道示とする)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．さらに，中小規模の地震波を対象に橋梁の地震応答解析により大型車両が橋梁の地震応答に及ぼす影響を考察する．

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,地震外力を考慮する橋梁 - 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事前に検証している．

2.2 解析モデル　Fig.1 に示すように鋼支承を有する一般的な都市高架橋の単純支持桁 1 径間を対象橋梁とする．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,17 次までとする．

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)]．

3.正弦波解析　3.1 入力正弦波　橋梁の固有振動数が 1.64Hz，橋梁の車両付加質量時の固有振動数が 1.59Hz であることを考慮して，1.3Hz から 2.0Hz 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．

3.2.解析ケース　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 4 台停車：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,最大載荷台数 2 台）の全 4 ケース．ただし,走行時の解析では実測された路面凹凸データを用いる．

4.地震波解析　4.1 入力地震波　入力地震波は，道示に規定されるレベル 1 地震におけるⅠ種地盤，Ⅱ種地盤のもの 2 波とⅠ種・Ⅱ種地盤上の観測地震波をそれぞれ 2 波ずつ，合計 6 波を解析に用いる．ここでは，フーリエスペクトルの卓越している振動数に特徴がある ＧⅠ-0 および ＧⅡ-2（北海道穂別町，2003/9/6）の波形を Fig.2 に示す．

4.2 解析ケース　載荷車両として設計活荷重相当車両列を用いる [3)]．

5.解析結果　Fig.3 に入力正弦波による応答波形を示す．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．しかし，車両を付加質量として考慮した場合については 1.59Hz までの低い周波数帯で応答が大きくなっていることも確認できる．これは

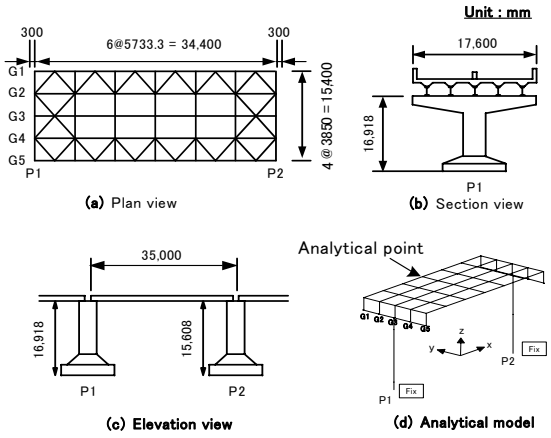
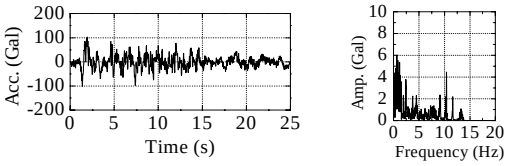
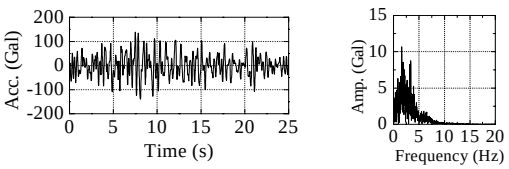


Fig.1 Bridge model



(a) ＧⅠ-0



(b)ＧⅡ-2

Fig.2 Ground motion

Mitsuo KAWATANI, Chul-Woo KIM, Shimpei KONAKA and Rie KITAURA

Fig.2 に示すフーリエスペクトルで卓越する成分が低い周波数に集中している GⅠ-0 の地震応答結果 (Fig.4 および Fig.5)にも表れている．また車両を振動系として考慮した場合には，特に橋梁の応答が大きい周波数帯(橋梁の固有振動数付近)で車両と橋梁の減衰の違いからダンパーとしての働きが強調され応答が低減すると考えられる．Fig.3 より走行時は停車時と比べ車頭間隔が大きくなり，つまり橋梁上に載荷している車両台数が少なくなるので振動系としての車両の影響も小さくなっていることがわかる．以上の結果から死荷重に対する活荷重の比が小さい場合，つまり車両の台数が少ない場合には載荷車両によるダンパーとしての働きも当然小さくなることがわかる．本研究の橋梁の応答の周波数特性に関する考察は一般的な都市高架橋に対するものであり，入路橋や軽量の橋梁といった死荷重に対する活荷重の比が大きい場合にはこの限りでない可能性がある．今後，他の橋梁モデルについても検討する予定である．

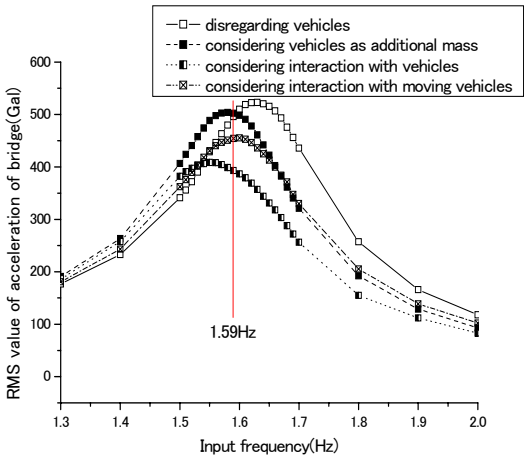


Fig.3 RMS value of the bridge response using sine wave

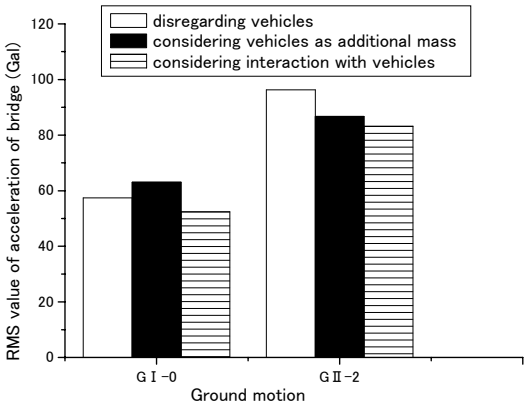
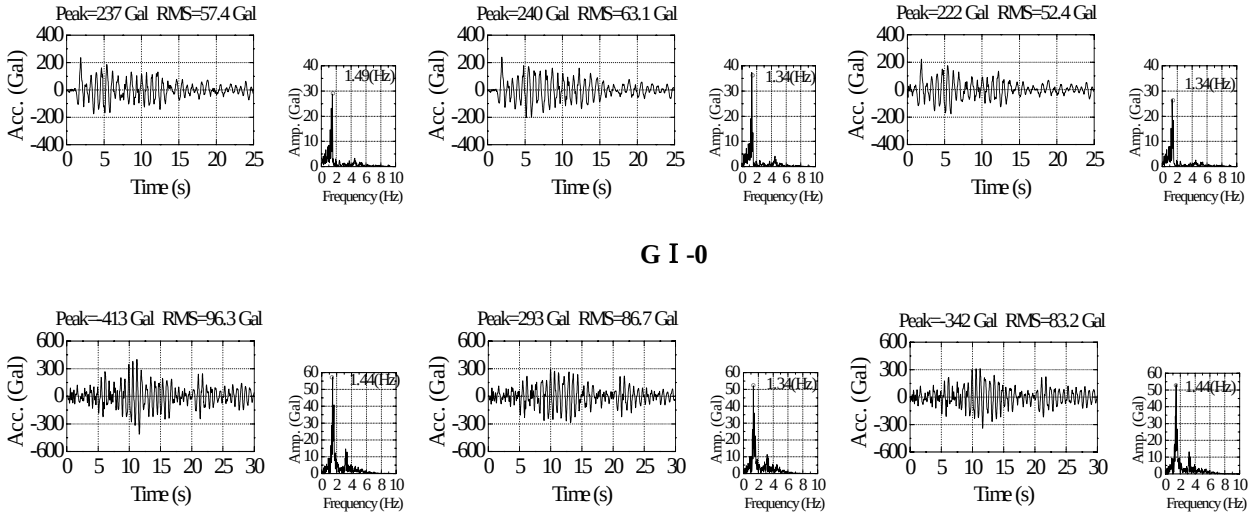


Fig.5 Bar graphs of RMS value of seismic response of bridge

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，Ⅰ-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



(a) Bridge model disregarding vehicles **(b) Bridge model considering vehicles as additional mass** **(c) Bridge model considering interaction between bridge and vehicles**

Fig.4 Transverse absolute acceleration of bridge under Ground motion GⅠ-0 and GⅡ-2