

車両考慮による高速鉄道高架橋の非線形地震応答解析

神戸大学大学院 フェロー 川谷 充郎
神戸大学大学院 学生員 橋本 圭史

北海道大学大学院 正会員 何 興文
神戸大学大学院 学生員 ○松本 修平

1. はじめに 近年、新幹線車両の軽量化および高速化が進む中、高架橋を走行中に地震が発生する場合の列車走行安全性および構造物の耐震性能評価は喫緊な検討課題となっている。既往の研究において、レベル1地震動では振動系車両は高架橋の応答を抑制することを示しているが、高架橋が非線形挙動を起こすような大規模地震時での振動系車両の影響は解明できていない¹⁾。そこで本研究では、有限要素で車両をモデル化し、汎用解析ソフトMIDASを用いて非線形動的解析を行い、大地震時における橋梁-車両連成系の動的応答を検討する²⁾。

2. 解析モデル 2.1 橋梁モデル 対象とする橋梁モデルを Fig.1 に示す。高速鉄道における一般的な鉄筋コンクリートのラーメン高架橋とし、橋長24m、幅6.9m、高さ6.4mで、節点数262、要素数341のすべて梁要素でモデル化している。

2.2 車両モデル 車両は300系新幹線車両とし、有限要素車両モデルは Fig.2 に示す通り46節点、35要素でモデル化し、白丸に二重節点を設ければねを考慮する。

2.3 入力地震波 入力地震波は Fig.3(a)に示す、鉄道構造物等設計標準・同解説³⁾に示されているG3地盤 Level 2 スペクトルII(直下型地震)の設計地震波および、Fig.3(b)に示す1995年1月17日に発生した兵庫県南部地震の水平成分とする。

3. 非線形地震応答解析 以下の3ケースについて非線形地震応答解析を行う。

Case (A) Only bridge : 橋梁モデルのみで車両を考慮しない。

Case (B) With mass : 車両を質量として橋梁モデルの節点に停止位置に応じて振り分けて付加させる。

Case (C) FEM Train model : 有限要素車両モデルを橋梁モデル上に停車状態で載荷する。

橋梁モデルの橋脚要素には Fig.4 に示すバイリニア型の復元力特性を考慮する。また、解析は直接積分法で行い、積分時間間隔 $\Delta t=0.001s$ とする。

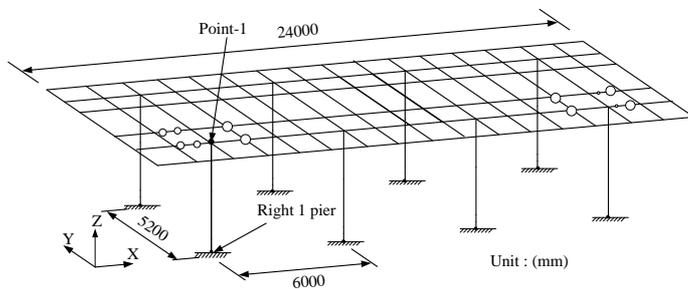


Fig.1 橋梁モデル

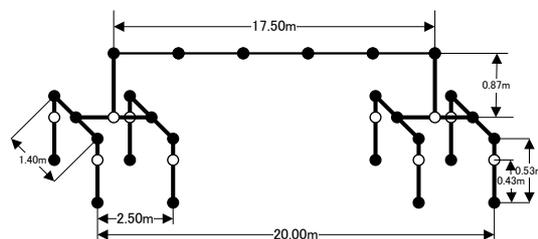
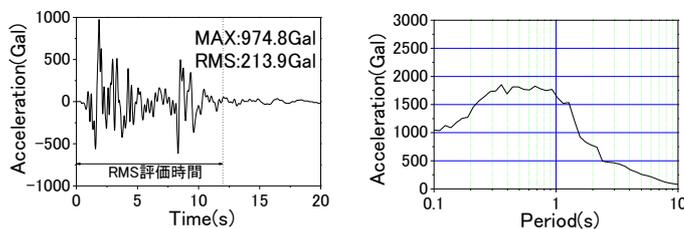
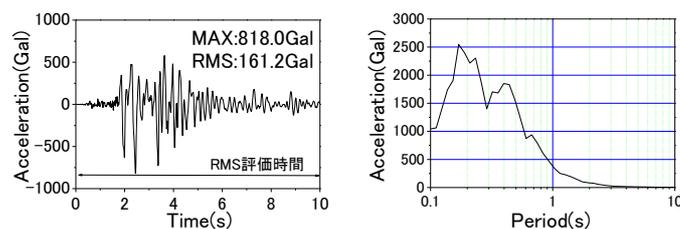


Fig.2 有限要素車両モデル



(a)Level 2 スペクトルII G3(普通地盤)



(b)兵庫県南部地震

加速度 加速度応答スペクトル

Fig.3 入力地震波

4. 解析結果 4.1 加速度応答 Fig.5(1)に Level 2 地震動を入力した非線形加速度応答(Fig.1 の Point 1)を示す。(A)Only bridge と(B)With mass を比較すると車両を付加質量としたほうが、加速度応答は小さくなっている。これは、Fig.5(3)に示す Right 1 pier 基部の M-φ 履歴ループの面積が、車両質量を付加したほうが大きいため、塑性変形によって失われる消散エネルギーが多くなり、結果的に加速度応答が小さくなったと考えられる。また、(A)Only bridge と(C)FEM Train model を比較すると、加速度 RMS 値が僅かに減少し、大きな差は見られず、(B)With mass よりも加速度低減効果が薄れる傾向にあることが分かる。

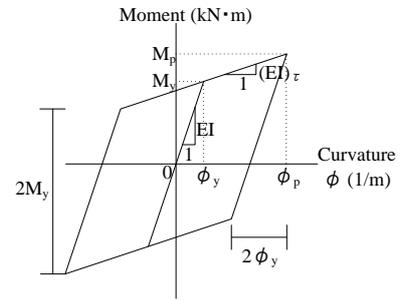


Fig.4 復元力特性

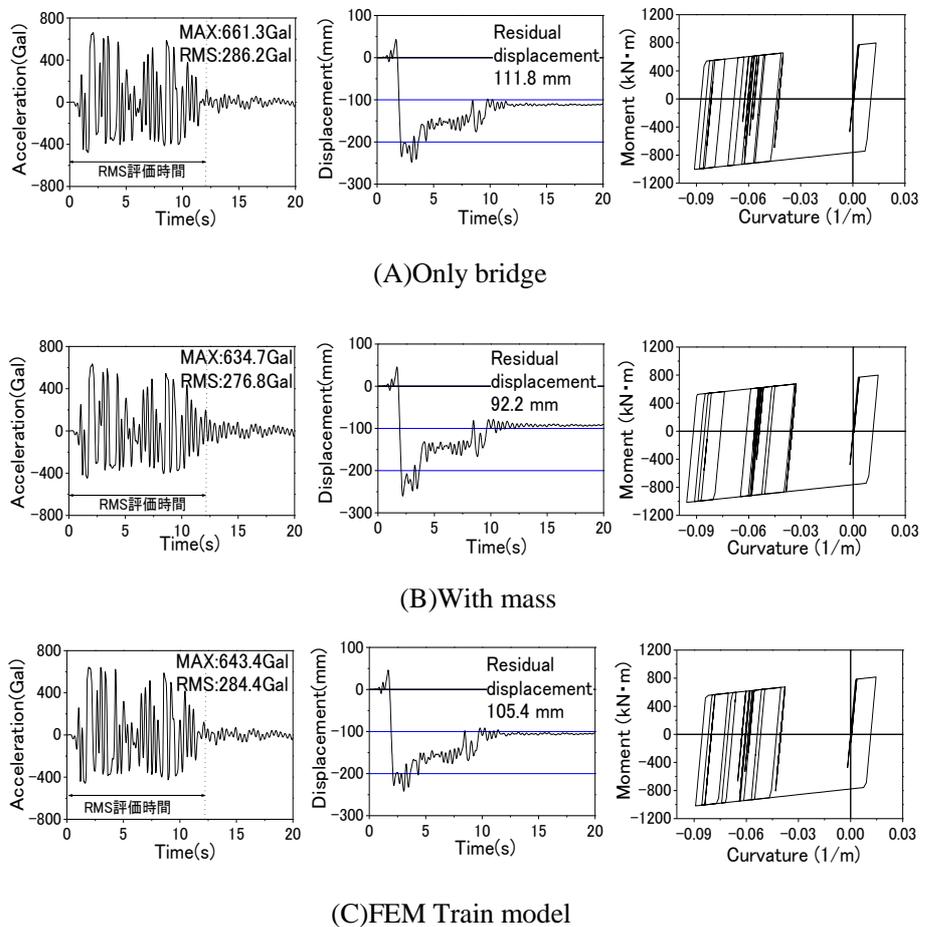
4.2 変位応答 Fig.5(2)の非線形解析による変位応答では、残留変位が生じ、各ケースにおける加速度応答と同じ傾向を示している。そして、(A)の残留変位が一番大きく、橋脚の損傷程度が最も深刻で、既往の研究²⁾における With mass の残留変位が最も大きい結果と異なる。これは、状況によって車両を単純に付加質量とすることは、構造物の安全性を危険側に評価する可能性があることを示唆している。

Fig.6 に兵庫県南部地震による変位応答を示す。Level 2 地震動の残留変位と比較すると、それぞれのケースにおいてかなり小さくなる事が確認できる。同様に、履歴ループも兵庫県南部地震の方が小さく、構造物の塑性変形が小さいことが分かる。そして、Fig.6 では、(C)の残留変位が一番大きくなっている。

上記の結果から、地震動特性や車両動的影響によって橋梁地震応答が大きく変化することが分かる。そのため、耐震設計において、車両の動的効果をさらに十分に検討する必要があると言える。

<参考文献>

- 1)川谷 充郎, 何 興文, 山崎 基記, 鉄道高架橋地震応答における列車荷重の動的影響評価, 鋼構造年次論文報告集, Vol.17, pp. 451-458, 2009.11.
- 2)松本 修平, 川谷 充郎, 何 興文, 橋本 圭史: 高速鉄道高架橋の非線形地震応答に及ぼす車両の影響検討, 土木学会関西支部年次学術講演会, 2014. 5.
- 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, 丸善株式会社, 1999.



(1)加速度応答 (2)変位応答 (3)M-φ履歴ループ

Fig.5 Level 2 スペクトル II G3 設計地震動による地震応答

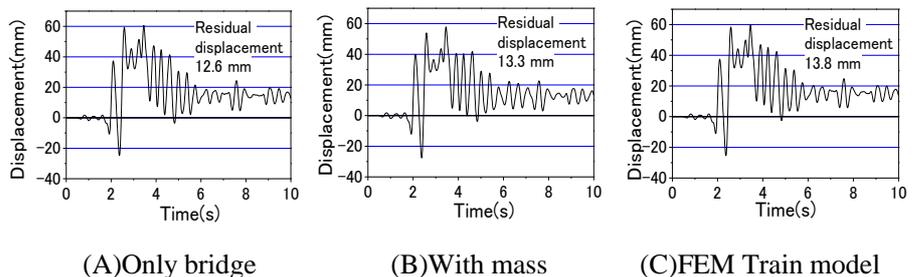


Fig.6 兵庫県南部地震による変位応答