

新幹線高架橋と車両連成系の非線形地震応答特性

神戸大学大学院 フェロー 川谷 充郎

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¹⁾. 大規模地震時に高架橋は複雑な非線形挙動を示すことから, 本研究では汎用解析ソフトを用いて有限要素車両モデルを構築し, 橋梁との連成非線形地震応答解析を行い, 大地震時における橋梁-車両連成系の動的応答から車両が高架橋の地震応答に及ぼす影響について検討する.

2. 解析モデル 2.1. 橋梁モデル 対象橋梁は Fig.1 に示す RC ラーメン高架橋の 1 連(24m)とし, 262 節点の三次元はり要素でモデル化する. 橋脚下端の境界条件は, 耐震設計標準²⁾に規定する G4 地盤の場合に地盤ばねを設け, G1 地盤の場合は固定とする. Table 1 に固有値解析結果を示す.

2.2. 車両モデル Fig.2 に有限要素車両モデルを示す. 48 節点 37 要素でモデル化し, 白丸箇所に二重節点を設け, 車体と台車および台車と車輪間のばねとダンパーを考慮する.

2.3. 入力地震動 入力地震波は Fig.3 に示す, 耐震設計標準²⁾に示されている G4(普通~軟弱地盤)および G1(基盤)地盤における Level 1, Level 2 Spc I (海溝型地震)および Spc II (直下型地震)の設計地震波で, 橋軸直角および鉛直方向(耐震設計標準²⁾より水平成分の半分の振幅のものを用いる)に作用させる.

2.4. 解析条件 以下の 3 ケースに分け, 汎用解析ソフト MIDAS を用いて地震応答解析を行う.

ケース(A)Only bridge: 橋梁モデルのみで車両を考慮しない.

ケース(B)With mass: 車両を質量として橋梁モデル上における車輪位置のはり要素の節点に振り分けて付加させる.

ケース(C)FE train: 車両を橋梁上に停車状態で載荷する.

減衰は(A), (B)はレーリー減衰で橋梁の 1, 2 次に対して減衰定数 0.05 とする. (C)はひずみエネルギー比例減衰とする. また, 積分時間間隔

は 0.001sec で, 解析時間はそれぞれの地震波に合わせて 30sec, 15sec および 10sec とする. 非線形解析では橋梁モデルの橋脚要素にはバイリニア型の復元力特性を考慮する.

Table 1 Natural frequencies of bridge

Mode	G4地盤(地盤ばね考慮)				G1地盤(地盤固定)		
	(A)Only bridge	(B)With mass	Mode shape	(C)FE train		(A)Only bridge	
	Frequency (Hz)	Frequency (Hz)		Frequency (Hz)	Mode shape	Frequency (Hz)	Mode shape
1st	2.208	2.098	橋軸	0.725	Sway	2.536	橋軸
2nd	2.327	2.206	橋軸	1.063	Bouncing	2.636	橋軸直角
3rd	2.332	2.233	橋軸直角	1.944	Yawing	2.663	橋軸
4th	12.67	12.40	鉛直	2.169	橋軸	13.58	鉛直
5th	12.84	12.62	鉛直	2.311	橋軸直角	13.78	鉛直

キーワード 高速鉄道高架橋, 車両振動系, 有限要素モデル, 設計地震波, 非線形地震応答解析
 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 Phone078-803-6383

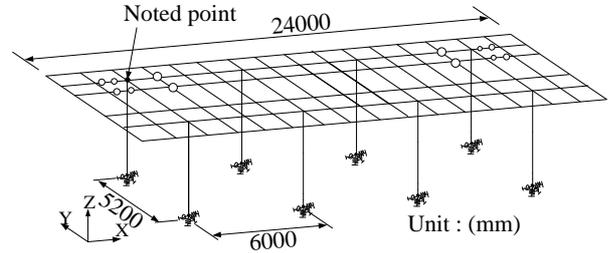


Fig.1 Bridge model

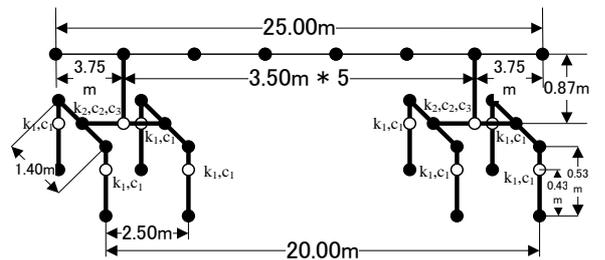


Fig.2 FE train model

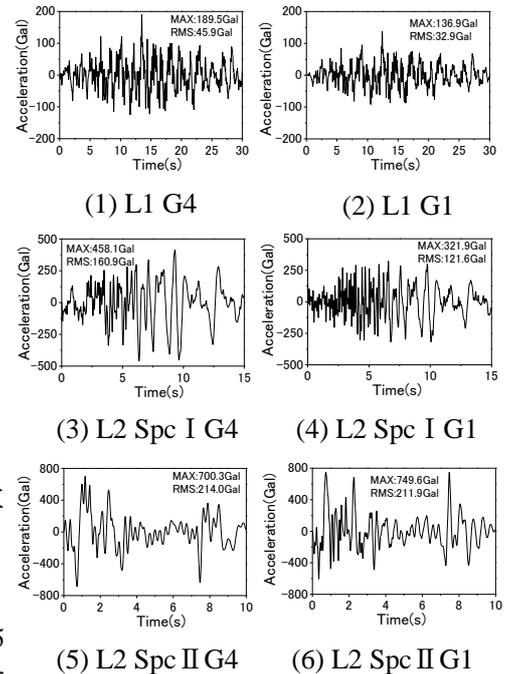


Fig.3 Ground motions

3. 解析結果 3.1. 線形解析結果

Fig.4(1), (2)に橋脚天端の線形加速度応答を示す。両地震波とも(A)Only bridge, (B)With mass, (C)FE train の順に小さくなり、車両の考慮の仕方の違いで応答に影響が出る。また、G4地盤に比べてG1地盤の方が応答は小さくなる。これは地盤を固定にすることによる橋梁の固有振動数の変化および地震動特性の違いによって生じたものと考えられる。

3.2. 非線形解析結果 Fig.5(1)の非線形加速度応答を見ると、L2 Spc I G4では(B)With massが最も大きくなり、参考文献³⁾のFig.5に示すL2 Spc II G4における(A)Only bridgeが最も大きくなる傾向と異なる。そして(C)FE trainでは線形同様、車両がダンパーとして働くことが確認できる。一方、地盤別の加速度応答ではFig.5, 6(1)からL2 Spc IではG4地盤の方がG1地盤より大きくなっているが、Fig.6(1)(b), (c)からL2 Spc IIではG4地盤の方が応答は小さくなっており、入力地震動の大きさの違いの傾向と同様である。そしてFig.5(2)の履歴ループの面積は(B)With massが最も大きく、また地盤別ではFig.6(2)からG4地盤の方が大きくなっており、橋脚の損傷が大きくなることが確認できる。本研究から、車両の考慮の仕方や線形および非線形領域で応答の傾向は異なるため、耐震設計標準に示される車両を付加質量とみなすことは、必ずしも適切であるとは言えず、車両の振動系としての動的効果をさら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)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.
- 3)川谷 充郎, 何 興文, 松本 修平, 高速鉄道高架橋と列車連成系の非線形地震応答解析, 土木学会関西支部年次学術講演会, 2015. 5.

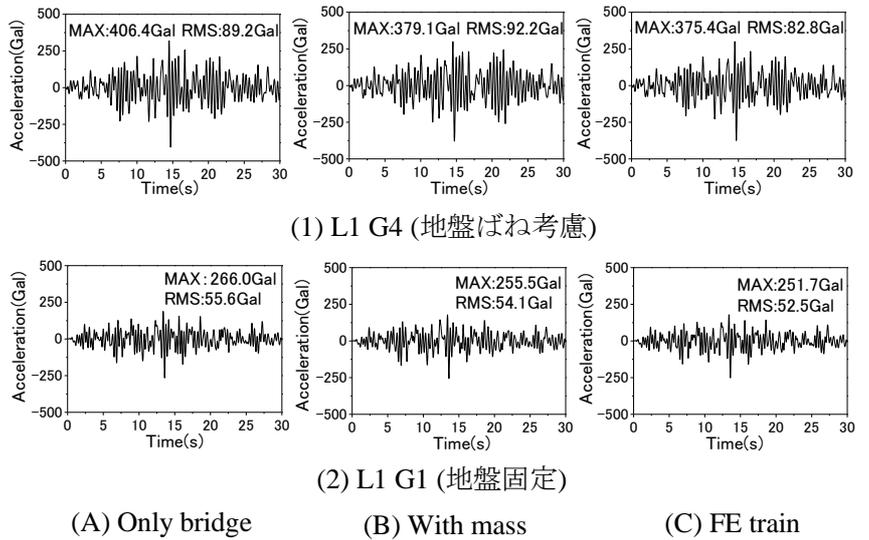


Fig.4 Acceleration responses (Linear analysis)

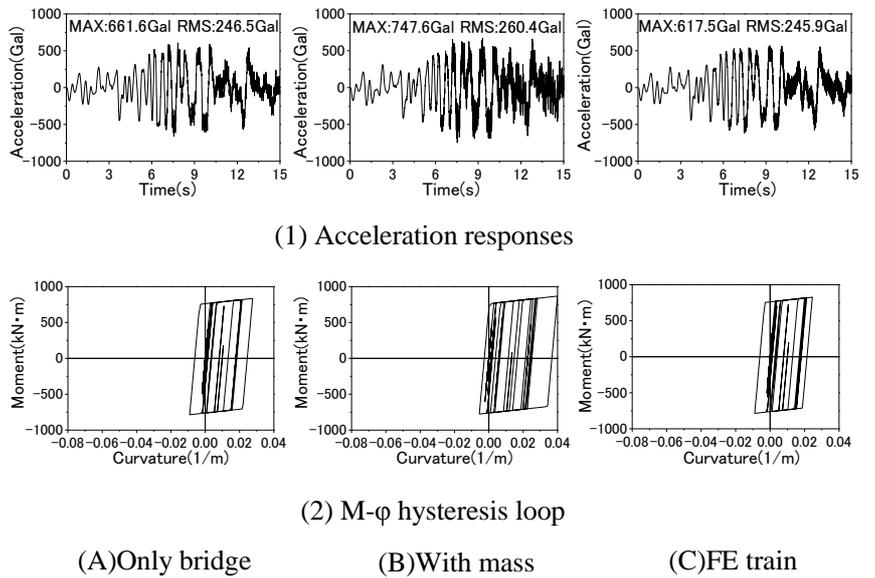


Fig.5 Nonlinear seismic responses L2 Spc I G4(地盤ばね考慮)

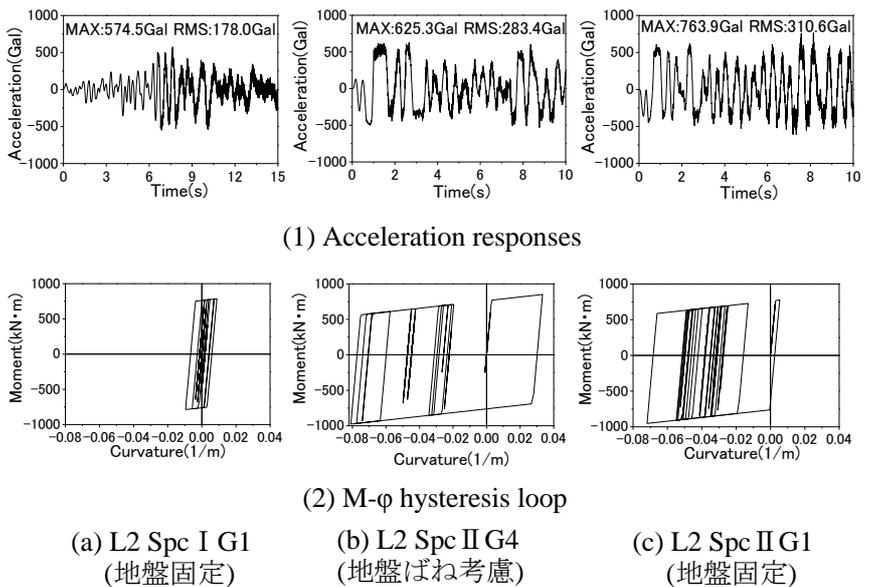


Fig.6 Nonlinear seismic responses (B) With mass