

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，鉄道高架橋を走行中に地震が発生する場合の応答特性，車両走行安定性および構造物の耐震性能は重要な検討課題である．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¹⁾．レベル 2 の大規模地震時には高架橋は非線形挙動を示す．そこで本研究では，汎用解析ソフト MIDAS を用いて鉄道高架橋の非線形地震応答解析を行い，車両質量の有無，地震波の違いによる結果を比較検討する．

2.非線形地震応答解析 2.1.高架橋モデル

Fig.1 に高架橋の有限要素モデルを示す．節点数は 262 で，橋脚下端の支持条件は固定である．橋梁の固有値解析結果(1 次～5 次)を **Table 1** に示す．

2.2.入力地震波 入力地震波は鉄道構造物等設計標準・同解説²⁾に示されているものから **Fig.2** に示す 4 種類の設計地震波とする．**Fig.2** には地震波の加速度波形，加速度応答スペクトル，変位応答スペクトル (図中の数値は車両無視の場合および付加質量として考慮するときの橋軸直角方向の水平一次固有周期)を示す．

2.3.解析条件 積分時間間隔 $\Delta t=0.01\text{sec}$ で直接積分法により応答を求める．レベル 1 地震動では線形解析，レベル 2 地震動では非線形解析を行う．また，地震荷重は橋軸直角水平方向のみに作用させる．

2.4.復元力モデル 非線形解析において，橋梁モデルの RC 橋脚部分の要素に **Fig.3** に示すバイリニア型の復元力特性を考慮する．降伏モーメント M_y の値は事前に計算して入力する必要がある，研究室の既往研究³⁾より数値を引用している．なお，終局モーメント M_p は設定していない．

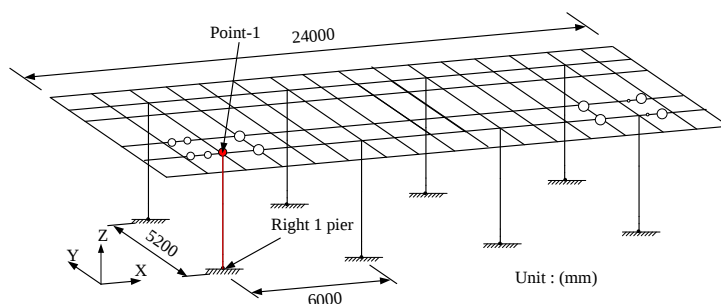
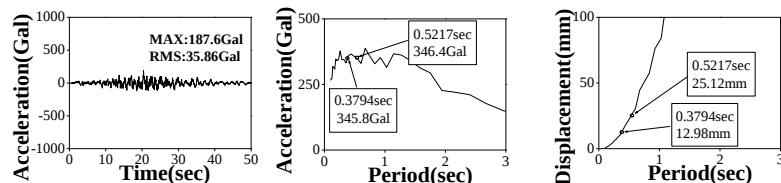


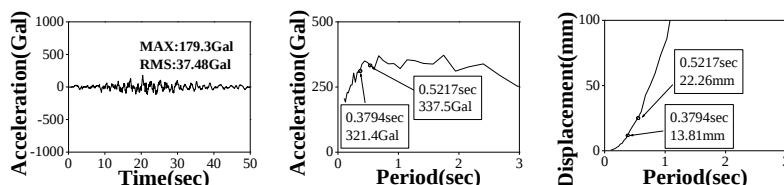
Fig.1 262-node bridge model

Table 1 Periods of bridge models

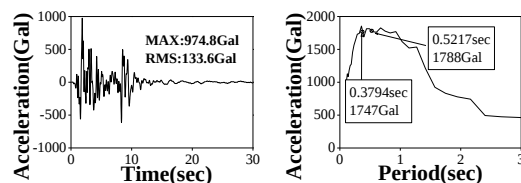
Mode	without train mass	with train mass	Mode shape
	period(sec)	period(sec)	
1st	0.3943	0.6024	x (橋軸一次)
2nd	0.3794	0.5217	y (橋軸直角一次)
3rd	0.3755	0.5073	x
4th	0.07365	0.1022	z (鉛直一次)
5th	0.07259	0.1010	z



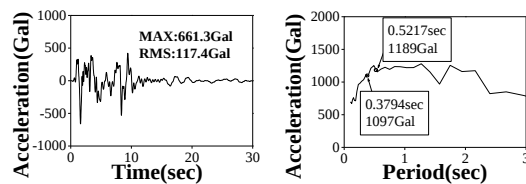
(a)レベル1(L1)_G3(普通地震)



(b)レベル1(L1)_G6(軟弱地盤)



(c)レベル2(L2)_SpC II _G3(普通地震)



(d)レベル2(L2)_SpC II _G6(軟弱地盤)

Fig.2 Ground motions

3.解析結果 3.1.質量効果の影響 レベル1地震動による水平加速度、変位応答(Fig.1のPoint 1)をFig.4に示す。車両を付加質量として考慮するとき、Fig.4のG3地盤の結果において加速度応答ではほとんど影響がないが、変位応答は増加することが確認できる。これらはFig.2の地震波の応答スペクトル特性とほぼ一致する結果となっており、橋梁モデルの固有周期の違いによるものである。また、Fig.5のG3地盤の結果においては車両質量を考慮することによって、加速度応答は減少し振動抑制効果があることが分かる。これは、Fig.5(3)のRight 1 pier基部の履歴曲線より車両質量を考慮する方が履歴ループの面積が大きくなりエネルギーの消散効果が大きくなるためであると考えられる。そして、変位応答では非線形を考慮することで橋脚が塑性化し残留変位が発生する。また車両質量を考慮することで残留変位は小さくなるが、変位振幅は増加する傾向があることが確認できる。

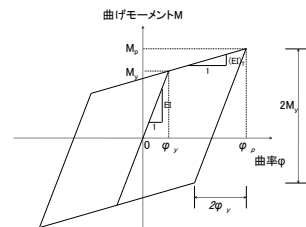
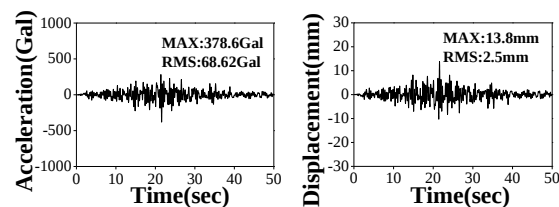
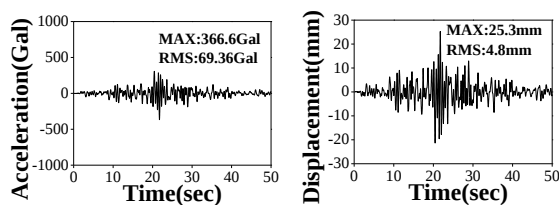


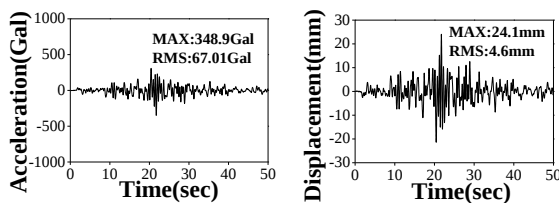
Fig.3 Hysteretic model of M-φ by bi-linear



L1_G3 without train mass



L1_G3 with train mass



L1_G6 with train mass

(1)Acceleration (2)Displacement

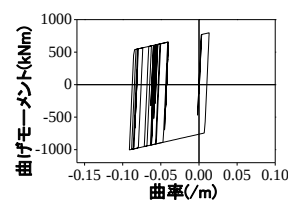
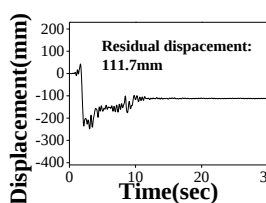
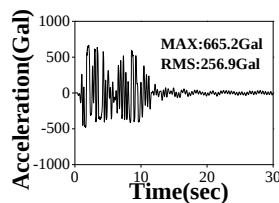
Fig.4 Seismic response due to L1 motion

3.2.地震動特性の影響 Fig.4,5の車両質量を考慮するときの結果を比較すると加速度応答、変位応答ともにG6地盤の設計地震波の結果の方が減少傾向にあることが分かる。これは、設計地震波の加速度波形が軟弱地盤であるG6地盤の方で小さくなっているためである。

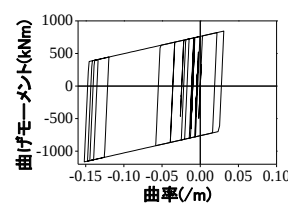
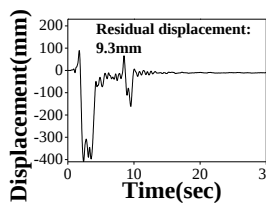
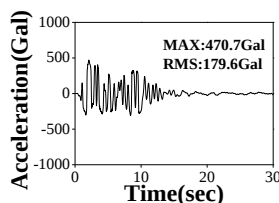
4.まとめ レベル1地震動では、車両質量を考慮すると橋梁の固有周期が変わるため応答に影響がある。一方、橋梁の応答が弾性挙動域を超えるレベル2地震動では地震波の応答スペクトル特性は見られず、加速度応答は減少し振動抑制効果があり、変位応答は大きくなる。また地震動特性の違いから橋梁の応答に影響が見られることが分かる。今後、車両を付加質量でなく振動系として橋梁との連成を考慮する場合について地震応答の影響を検討していく。

<参考文献>

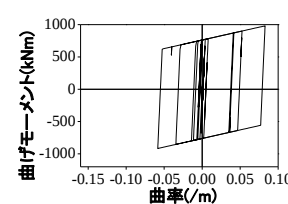
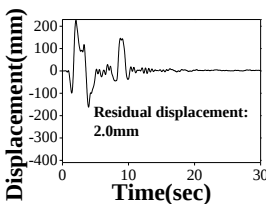
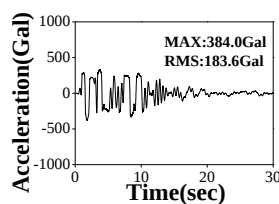
- 1)川谷 充郎, 何 興文, 山崎 基記, 鉄道高架橋地震応答における列車荷重の動的影響評価, 鋼構造年次論文報告集, Vol.17, pp.451-458, 2009.11.
- 2)鉄道総合技術研究所:鉄道構造物等設計標準・同解説 耐震設計, 丸善株式会社, 1999.
- 3)山口 将, 川谷 充郎, 何 興文, 西山 誠治, 品川 恒平:高速鉄道高架橋と走行列車の連成解析による耐震性能評価, 土木学会関西支部年次学術講演, I-12, 2007.5.



L2_Spc II _G3 without train mass



L2_Spc II _G3 with train mass



L2_Spc II _G6 with train mass

(1)Acceleration

(2)Displacement

(3)Hysteretic of M-φ

Fig.5 Seismic response due to L2 motion