

地盤種別を考慮したモノレールPC桁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 京都大学大学院 正会員 金 哲佑  
 (株)エイト日本技術開発 正会員 小野 和行 神戸大学大学院 学生員 ○延命 卓哉

**1. はじめに** モノレールPC桁高架橋は桁質量に比べて車両質量の比率が大きく、大規模地震時の非線形応答特性を把握する場合、車両連成系を考慮することは重要である<sup>1)</sup>。本研究では、2011年8月に行われたモノレール高架橋交通振動実測<sup>2)</sup>における地盤性状および基礎構造の異なる2箇所の対象高架橋をモデル化し、地盤種別を考慮して橋梁-車両連成地震応答解析を行う。それら2箇所の結果を比較し、大規模地震時における応答特性の違いを検討する。

**2. 解析モデル** **2.1. 高架橋モデル** 対象とする高架橋は、現地実測の行われた大阪モノレール彩都線 NP114~NP115 区間および NP228~NP229 であり、隣径間を含む3径間を3次元有限要素でモデル化する。2箇所では地盤性状が異なっており、ボーリングによる地質調査で NP114~NP115 よりも NP228~NP229 の方が良好な地盤である。その地盤性状の違いを含め、2箇所の高架橋の構造諸元を **Table 1** に示す。また、深さ方向の地層の違いを考慮して、杭基礎を1本の梁要素でモデル化して複数のばねで地盤の影響を表す。2箇所の地盤ばね値を **Table 2** および **Table 3** にそれぞれ示す。非線形解析について、橋脚の柱部に剛性の非線形特性を導入しバイリニア型とする。降伏モーメントは引張鉄筋が降伏する値と考慮して NP114~NP115 で  $2.64 \times 10^4$  kN・m、NP228~NP229 で  $1.86 \times 10^4$  kN・m とし、剛性低下率は0.01とする。

**2.2. 車両モデル** 車両は梁要素で有限要素モデル化する。走行輪・案内輪・安定輪を再現して1台車当たり5点で橋梁と接し、車輪の接地点と桁の節点間にはオフセットビームを用いて、車両のローリングの影響を評価できるようにする。走行輪・案内輪・安定輪および車体と台車間の枕ばねに対して、水平および鉛直ばねを二重節点にて設ける。また、車体の材料はアルミニウム合金であり、剛性は0系新幹線車両を参考にする。車両は満員状態(定員の1.6倍)を想定し、車両重量は1車両当たり338.33kNである。車両は第2橋脚に最も荷重が作用するように配置し、その車両載荷時の高架橋モデル概要図を **Fig. 1** に示す。

**2.3. 入力地震波** 対象高架橋地盤の固有周期  $T_G$  を調べると、NP114~NP115 で  $T_G=0.44s$ 、NP228~NP229 で  $T_G=0.15s$  となる。この固有周期より、道路橋示方書による耐震設計上の地盤種別が NP114~NP115 で II 種地盤(普通地盤)、NP228~NP229 で I 種地盤(硬質地盤)となる。入力地震波は道路橋示方書に規定されている Level-2 地震動(Type-2)を使用し、NP114~NP115 には II 種地盤の振幅調整波、NP228~NP229 には I 種地盤の振幅調整波をそれぞれ橋軸直角方向に入力し、鉛直方向にはそれぞれの半分を入力する。入力地震波の波形および応答スペクトルを **Fig. 2** に示す。

**2.4. 解析条件** 汎用解析ソフトを用いて直接積分法により解析を行い、積分時間間隔は  $\Delta t=0.01sec$  とする。減衰は Rayleigh 減衰を用い、橋梁の1次および2次の固有振動数に対して減衰定数  $h=5\%$  とする。解析ケー

**Table 1** 対象高架橋諸元

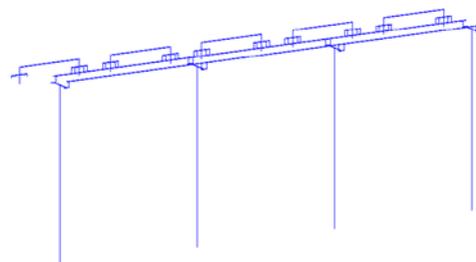
	NP114~NP115	NP228~NP229
Bridge length	22m	21m
Pier height	10.6m	10.6m
Pier	1.7(m)×2.3(m)	2.0(m)×2.3(m)
Footing	4.5(m)×7.0(m)	5.0(m)×5.0(m)
Number of piles	6	4
Pile length	18m	8m
Ground condition	Not good	Good

**Table 2** NP114~NP115 の地盤ばね値

バネ No.	深度 (m)	水平地盤バネ (kN/m)
1	0.0	$9.84 \times 10^4$
2	4.5	$1.36 \times 10^5$
3	9.0	$1.36 \times 10^5$
4	13.5	$3.66 \times 10^5$
5	18.0	$2.98 \times 10^5$

**Table 3** NP228~NP229 の地盤ばね値

バネ No.	深度 (m)	水平地盤バネ (kN/m)
1	0.0	$1.67 \times 10^5$
2	2.0	$2.44 \times 10^5$
3	4.0	$3.29 \times 10^5$
4	6.0	$3.38 \times 10^5$
5	8.0	$1.69 \times 10^5$



**Fig. 1** 有限要素車両載荷時の高架橋モデル

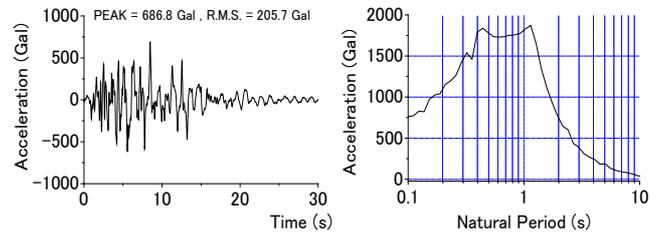
スについては、(a) **Only bridge**(橋梁のみ)、(b) **Train as mass**(車両質量を付加質量として考慮)、(c) **Vehicle FEM**(有限要素車両モデル載荷)の3ケースについて検討する。R.M.S.評価時間は0~20秒の20秒間とする。

**3. 地震時応答解析結果**

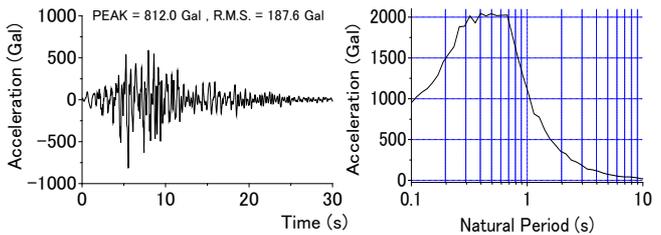
2箇所におけるそれぞれのケースについて、第2橋脚頂部の橋軸直角方向加速度応答および橋脚基部の曲げモーメント-曲率(M- $\phi$ )履歴ループをFig. 3およびFig. 4にそれぞれ示す。それぞれのケースで結果を比較すると、M- $\phi$ 履歴ループよりNP228~NP229は降伏モーメント値が小さい影響から塑性変形を多く繰返していると考えられる。また、車両振動系考慮するとNP114~NP115ではピーク値が小さくなり、NP228~NP229ではR.M.S.値が大幅に減少しており車両ダンパー効果が確認できる。この違いは地盤性状を含む高架橋諸元の違いにより2箇所では振動特性が異なっていることが影響していると考えられる。

【参考文献】

- 1) 川谷充郎, 金哲佑, 小野和行, 延命卓哉: モノレールPC桁高架橋の大規模地震時における車両連成応答特性, 平成26年度土木学会関西支部年次学術講演会, 2014.5.
- 2) 小野和行, 川谷充郎, 金哲佑, 延命卓哉, 柏木栄一, 岡重嘉泰: 跨座型モノレールPC桁高架橋の交通振動実測, 構造工学論文集Vol.59A, pp.272-280, 2013.3

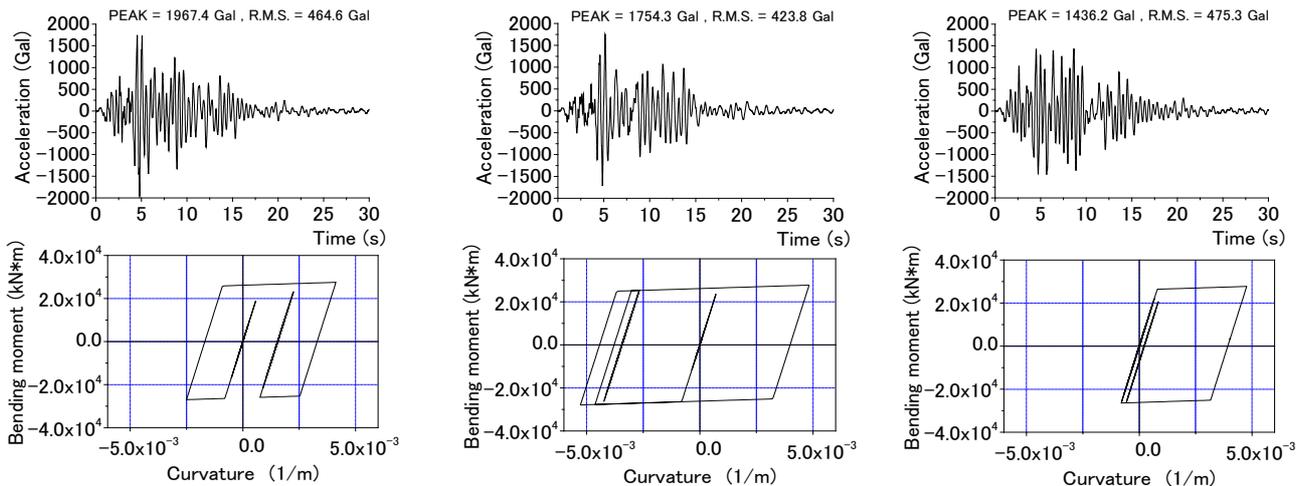


(1) Level-2 設計地震動(Type-2) II種地盤: NP114~NP115



(2) Level-2 設計地震動(Type-2) I種地盤: NP228~NP229

Fig. 2 設計地震波波形および応答スペクトル

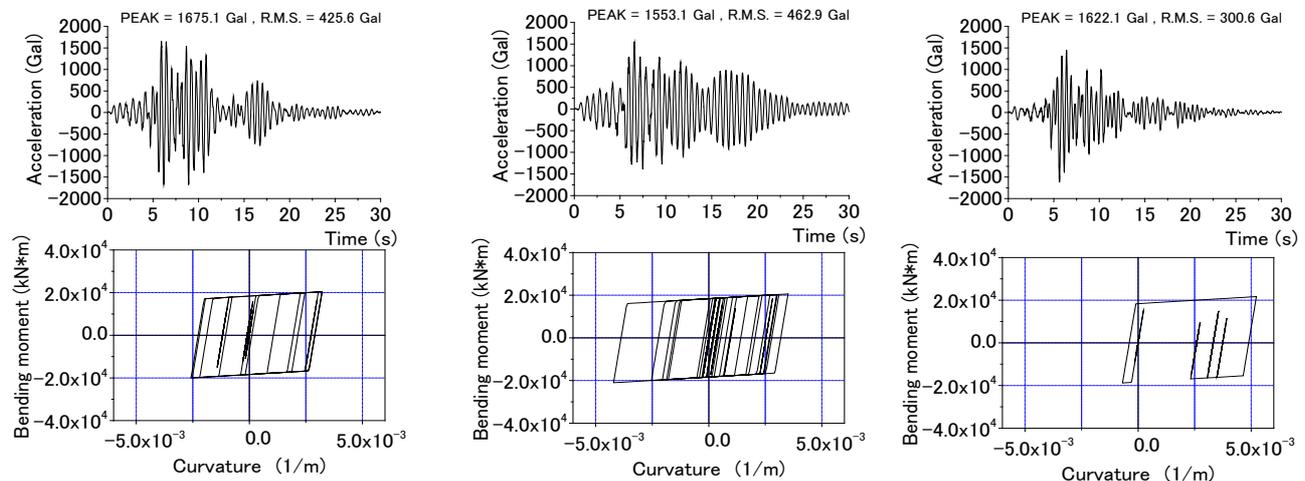


(a) Only bridge

(b) Train as mass

(c) Vehicle FEM

Fig. 3 NP114~NP115の橋脚加速度応答解析結果およびM- $\phi$ 履歴ループ



(a) Only bridge

(b) Train as mass

(c) Vehicle FEM

Fig. 4 NP228~NP229の橋脚加速度応答解析結果およびM- $\phi$ 履歴ループ