第 I 部門

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

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 モノレール軌道桁の特徴として車両が軌道桁を挟み込んでおり,死 荷重に対する活荷重の比が大きく,車両の振動系が橋梁応答に及ぼす影響が他の交 通システムより大きくなる.よって,高架橋の動的応答解析では,車両連成系を考 慮することにより,実現象をより正確に把握できる.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¹⁾における対象高架橋をモデル化し,現地の 地盤性状と地盤種別を考慮して,実際の状況に近い橋梁-車両連成地震応答解析を 行う.基礎の状況をより詳しく反映するために,杭基礎を梁要素によりモデル化し, 地層の深さ方向に地盤ばねを設置するモデルを使用する.橋脚の塑性化を考慮に入 れた非線形解析は汎用ソフト MIDAS にて行い,車両を有限要素でモデル化するこ とにより車両載荷時における大規模地震発生時の非線形地震応答特性を検討する.

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.また、地盤における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.その概要図を Fig.1に示し、地盤ばね値を Table 1 に示す.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

が降伏する値と考えて 2.64×10⁴ 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.それぞれのば ねの値は Table 2 に示す.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. 有限要素車 両モデルを高架橋に載荷する高架橋モデルを **Fig.2**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 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Ⅱ種地盤(普通地盤)とな る.したがって,入力地震波は道路橋示方書に規定されている Level-2 地震動のⅡ種地盤の振幅調整波を橋軸直角方向に入力 し,鉛直方向にはその半分を入力する.入力地震波の波形およ び応答スペクトルを Fig.3 に示す.

2.4. 解析条件 直接積分法により解析を行い,積分時間間隔 は Δt=0.01sec とする. 減衰は Rayleigh 減衰を用い,橋梁の1次



Fig.1 杭基礎モデル

Table 1 水平地盤ばね値

ばね No.	深度 (m)	水平地盤ばね (kN/m)
1	0.0	9.84×10 ⁴
2	4.5	1.36×10 ⁵
3	9.0	1.36×10 ⁵
4	13.5	3.66×10 ⁵
5	18.0	2.98×10 ⁵

Table 2 有限要素車両のばね値

枕ばね(鉛直)	(kN/m)	1.80×10 ³
枕ばね(水平)	(kN/m)	1.96×10 ³
走行輪(鉛直)	(kN/m)	2.36×10 ³
走行輪(水平)	(kN/m)	3.14×10 ³
案内輪・安定輪(鉛直)	(kN/m)	9.80×10 ²
案内輪・安定輪(水平)	(kN/m)	1.96×10 ³



Mitsuo KAWATANI, Chul-Woo KIM, Kazuyuki ONO, Takuya ENMEI E-mail: <u>m-kawa@kobe-u.ac.jp</u>

および2次の固有振動数に対して減衰定数 h=5%とする. 解析ケースについては, (a) Only bridge-non-linear, (b) Train as mass-non-linear, (c) Vehicle FEM-linear, (d) Vehicle FEM-non-linear の4ケースについて検討する. 応答結果における R.M.S.評価時間は 0~20 秒の 20 秒間とする.

3. 解析結果 3.1. 固有値解析結果 有限要素車両モデル載荷時および橋梁のみの固有値解析結果を Table 3 に示す. Table 3 における有限車両載荷時の6次以前は車両の振動モードとなっている. この7次の 固有振動数と橋梁のみの1次の固有振動数を比較すると,有限要素車両が載荷されることによって上部工の 重量が大きくなるが,車両連成の影響により橋梁の固有振動数が大きくなっていることがわかる.

3.2. 地震時応答 それぞれのケースにおいて、P2 橋脚頂部の橋軸直角方向加速度応答および P2 橋脚基部 の曲げモーメント - 曲率(M- φ)履歴ループを Fig. 4 に示す. (a) Only bridge の結果において M- φ履歴ループ を見ると、橋脚基部の曲げモーメントが降伏モーメント値を越えて塑性化し、剛性が変化していることが確 認できる. (a) Only bridge と(b) Train as mass を比較すると、(b) Train as mass の方が M- φ履歴ループが大き いことから、上部工の重量が増えることにより曲げモーメントが増大して、大きく塑性化していると考えら れる. その塑性変形により加速度応答が小さくなると考えられる. 次に、Vehicle FEM の結果について(d) Vehicle FEM-non-linear の結果を見ると、(b) Train as mass より加速度のピーク値が小さくなっている. 車両 を振動系として扱うことにより、橋梁の振動と逆位相に振動することにより生じるダンパー効果が表れてい ると考察できる. 一方、車両が振動することにより減衰が遅くなることから R.M.S.値が大きくなると考えら れる. M- φ履歴ループに関しては、加速度と同様に車両の影響で曲げモーメントが小さくなっており、塑性 変形が小さくなると考えられる. また、Vehicle FEM の結果で(c) linear と(d) non-linear の結果を比較すると、 (d) non-linear ではピーク値、R.M.S.値ともに小さくなっており、非線形性考慮による影響が確認できる.

1) 小野和行,川谷充郎,金哲佑,延命卓哉,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





(d) Vehicle FEM-non-linear