

異種高架橋間の地震時列車走行性に関する検討

(財) 鉄道総合技術研究所 正会員 ○後藤 恵一
(財) 鉄道総合技術研究所 正会員 渡辺 勉
(財) 鉄道総合技術研究所 正会員 曾我部 正道

1. 目的 異種高架橋間、即ち等価固有周期の大きく異なる高架橋間では、地震時の動的応答性状の違いにより相対変位が生じ、それに起因する角折れ等が列車走行性に影響を及ぼすことが懸念される。しかしながら、このような走行区間において必ずしも地震時列車走行性に関する詳細な検討が行われてはおらず、十分な現象解明がなされていないのが現状である。そこで本研究では、等価固有周期の大きく異なる高架橋間の地震時列車走行性について数値実験的な手法により検討を行った。

2. 解析方法 検討には、車両と構造物との動的相互作用解析プログラム DIASTARS III を用いた。図-1 に対象として仮定した高架橋の概要を示す。対象高架橋は単線の桁式高架橋区間と複線の調整桁式3柱式2層ラーメン高架橋区間から成る。地盤種別は G4 (普通～軟弱地盤) と仮定した。

図-2 に対象高架橋の力学モデルの概要を示す。桁、ラーメン高架橋の上層及び調整桁は剛な梁要素でモデル化した。橋脚、ラーメン高架橋の柱は構造物の静的非線形解析結果を反映した水平非線形ばね要素及び回転線形ばね要素でモデル化した。3柱式のラーメン高架橋には4つの柱通りがあるが、図-2 に示す手法を用いて水平と回転の2自由度に集約してモデル化した。橋脚及び柱の下端には地震波入力用の質点を設けた。なお減衰定数 ξ は全モードに対して5%とした。地震時列車走行性は、車輪の走行面、即ちレール頭頂面の線路方向の曲率の影響を受けるため、ブロック境界に生じる構造物間の角折れに対するレールの緩衝効果を適切に考慮する必要がある。そこで、時刻毎に境界近傍の節点変位と平均折れ角から *Hermite* 補間により軌道の変形形状を模擬的に再現した。

図-3 に車両の解析モデルを示す。車両の解析モデルは、車体、台車、輪軸を剛体と仮定し、これらをばねとダンパで結合して構成した。なお、実車には各構成要素間に相対変位抑制のためのストッパが設けられているため、ばねはバイリニア型の非線形ばねとした。列車は8両編成とし列車速度は160km/hとした。

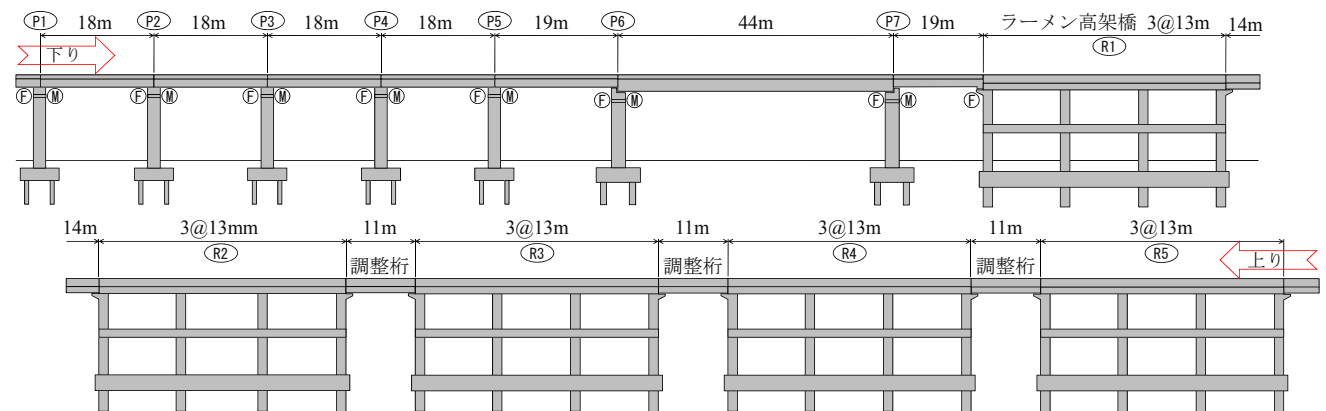


図-1 解析対象高架橋の概要

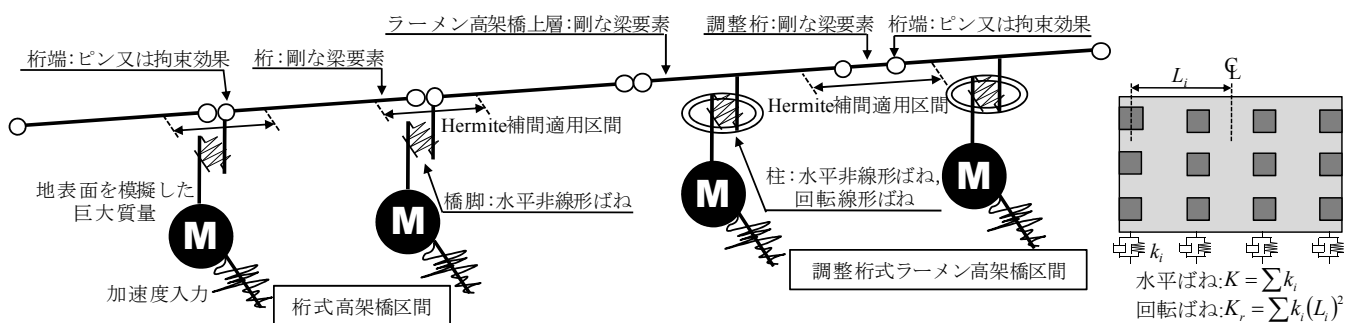


図-2 高架橋の力学モデルの概要

キーワード 地震時列車走行性、動的相互作用解析、角折れ、乗り上がり脱線、等価固有周期

連絡先 〒185-8540 東京都国分寺市光町 2-8-38 (財) 鉄道総合技術研究所 構造力学 TEL 042-573-7290

入力地震動には鉄道構造物等設計標準・同解説(耐震設計)に定める L1 地震動を基本に、海溝型の L2 スペクトル I 地震動及び内陸活断層型の L2 スペクトル II 地震動¹⁾を用いた検討も行った。ただし、ランダム波全体を評価できるように 1 つの解析条件につき列車の走行開始位置を 200m (8 両編成の列車長に相当) ずつシフトさせて 8 ケースの計算を実施した。また、車両の応答は非線形性が強いので、地震動の入力加速度振幅を線形に漸増させながら検討を行った。さらに、本研究では地震動の位相差を考慮した場合の検討も行った。その位相差の設定モデルを図-4 に示す。位相差は、図に示す入射角 15° と 30° の 2 ケースとし、地震動が列車の進行方向と同方向に進む設定を正、逆方向に進む設定を負とした。

列車走行性は、車輪とレール間の相対水平移動量(以下、車輪水平移動量という)で評価し、脱線限界の目安には、車輪のフランジがレールから外れて水平に移動した量の限界として 70mm を適用した。

3. 解析結果 図-5 に脱線が生じたケースの時刻歴波形の例を示す。1 号車の 3 軸はフランジ高さ 30mm を超える 48mm 程度まで上昇し、13.5 秒付近で脱線した。それに対し、1 軸は大きな車輪上昇が見られないまま(車輪とレールが接触を保ったまま)11 秒付近で脱線した。即ち、1 軸の脱線モードは乗り上がり脱線である。この時、高架橋に生じていた折れ角は最大 13mrad であった。このように極端に大きな角折れが生じる場合は、地震時に従来と異なるモードの脱線が生じる。

図-6 に地震動が地震時列車走行性に及ぼす影響を示す。各プロット値は 8 ケースの走行開始位置の中の最大値を示している。図から下り及び上り走行どちらの場合も L2 スペクトル I 地震動の場合に列車走行性が最も厳しくなっていることが分かる。その際、車輪水平移動量が 70mm となる地表面最大加速度はそれぞれ 1.7m/s^2 , 2.1m/s^2 であった。

図-7 に位相差が地震時列車走行性に及ぼす影響を示す。列車の進行方向と逆方向に位相差を与えた場合、位相差を考慮しない場合と比較して車輪水平移動量が 70mm となる地表面最大加速度が下り走行では 1.9m/s^2 から 1.7m/s^2 、上り走行では 3.8m/s^2 から 3.4m/s^2 となり 10% 程度の位相差の影響が見られた。

対象高架橋で列車走行性が厳しくなるのは下り走行であり、L1 地震動の位相差なしの場合に地表面入力加速度で上り走行と 1.5 倍の開きがあった。

4. まとめ ①脱線モードとして乗り上がり脱線のケースが見られた。②対象高架橋では L2 スペクトル I 地震動の場合に最も列車走行性が厳しくなった。③対象高架橋では地震波の位相差の影響が見られたが、その影響は 10% 程度であった。

参考文献 1) 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，1995。

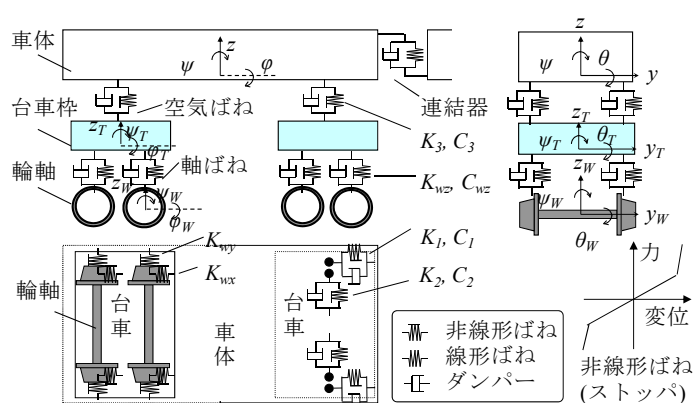


図-3 車両の解析モデル

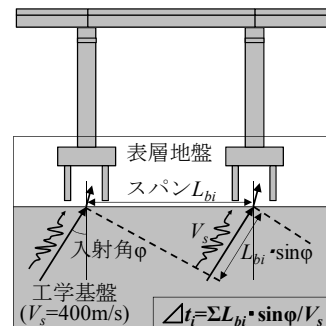


図-4 位相差の設定モデル

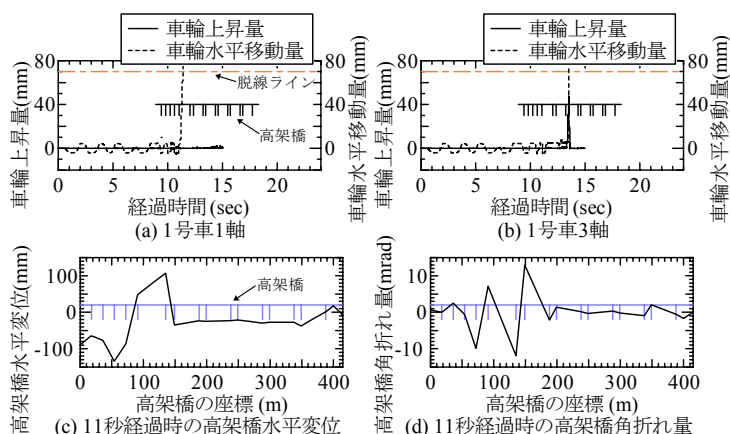


図-5 時刻歴波形の例(下り走行，列車走行位置：構造物始点から-400m，入力地震動：L1 地震動，入力加速度 2.1m/s^2)

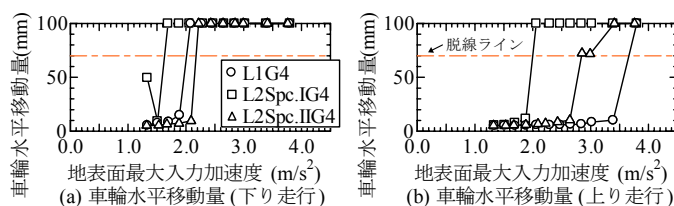


図-6 地震動が地震時列車走行性に及ぼす影響

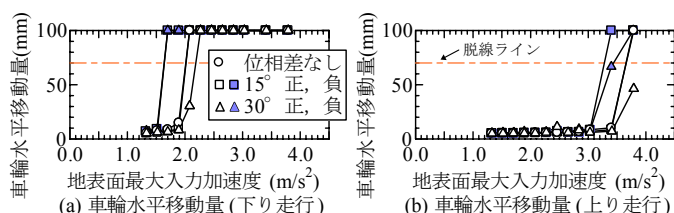


図-7 位相差が地震時列車走行性に及ぼす影響 (L1 地震動)