

第 I 部門

モノレール車両を考慮した PC 軌道桁の地震時動的応答特性

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
 神戸大学大学院 学生員 ドアン カン ヴ 神戸大学大学院 学生員 ○ 藤田 輝一
 大阪府茨木土木事務所 正会員 藤本 裕昭 パシフィックコンサルタンツ(株) 正会員 谷 直彦

1. はじめに モノレール構造の橋脚の耐震設計では、車両質量を上部構造質量に加算する簡易な取り扱いが採られている。モノレール構造の特徴として死荷重に対する活荷重の比が大きく、車両の地震応答に及ぼす影響が大きい。しかるに、車両は振動系であり、著者らは鋼軌道桁を対象にした解析により車両が高架橋の地震応答に対してダンパーとして作用する場合のあることを指摘した¹⁾。本研究では、PC 軌道桁を対象として、橋梁 - 車両連成系の地震応答解析を行い、レベル 1 地震時に車両の存在により橋梁が受ける影響、支承の耐震性能を検討する。

2 解析モデル 2.1 橋梁モデル 橋長 22m(支間長 21.2m)の標準 PC 桁(鋼支承とゴム支承)を対象とする (Fig.1 参照)。桁の材料特性としてヤング係数は 55Gpa とする。コンクリート強度より求められるヤング係数を用いて推定したたわみ量と、実測桁の載荷試験によるたわみ量が大きく異なるので、実験により求めたたわみ値を用いて曲げ弾性係数を逆算している($1.56 \times 35 \text{ Gpa} = 55 \text{ Gpa}$)²⁾。桁の断面諸元は Table 1 に示す。軌道桁の路面凹凸は実測凹凸³⁾を用いる。橋脚は高さ 10.6m で、コンクリート強度は $\sigma_{c2}=27\text{N/mm}^2$ ($E_c = 27 \text{ Gpa}$) である。橋脚下端には、地盤ばねを考慮している。

2.2 モノレール車両モデル 3次元モノレール車両モデルを Fig.2 に示す。車体、台車(前・後)それぞれについて 5 自由度を有し、計 15 自由度振動系とする。地震時に車両は定員と想定する。車両の代表的振動特性として、車体のバウンシング振動の振動数は 0.968Hz、水平振動は 0.729Hz であり、ローリングについては 1.384Hz である。

2.3 入力地震波 入力する地震波は設計の際に使用するレベル 1 の I 種地盤および II 種地盤のもの (Fig.3 参照)を用い⁴⁾、橋軸直角方向に慣性力として全節点(質量)に作用させる。この入力地震波は、観測波形を応答スペクトルに合うように振幅調整したものである。

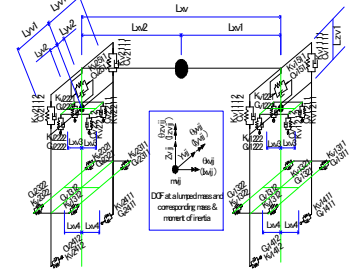


Fig.2 Train model

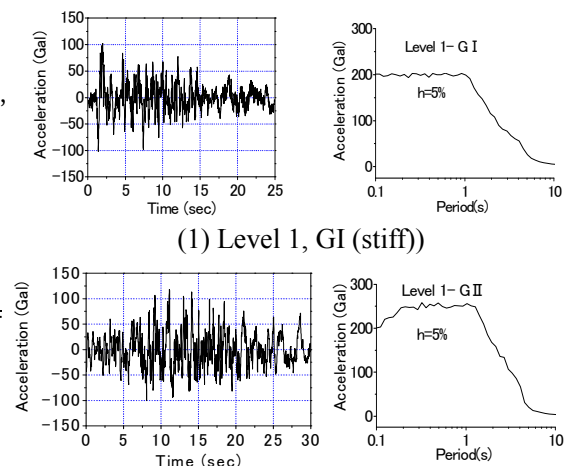


Fig.3 Earthquake acceleration

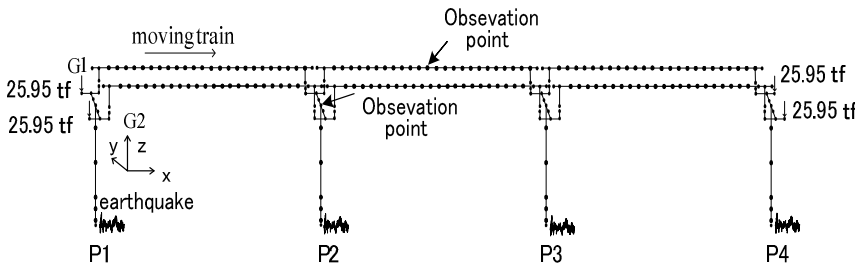


Fig.1 3-span viaduct model

Table 1 Structural properties of PC girder

	Sectional Area (m ²)	Iz (m ⁴)	Iy (m ⁴)	Torsional coefficient (m ⁴)	Mass per unit length (t/m)
Edge Section	1.075	0.0725	0.2201	0.307	2.687
Central Section	0.8844	0.0635	0.2058	0.307	2.211

3. 解析条件・解析ケース 橋梁の減衰定数は $\eta=5\%$ とする. モード解析に考慮する振動次数は鋼支承とゴム支承それぞれ 38 次 ($f_{38}=19.769$ Hz) と 48 次 ($f_{48}=18.737$ Hz) までとする. 走行車両の速度は営業最高速度 ($v=20$ m/s) とする. 地震時の車両の動的影響を考慮するために, 解析ケース: Case-1 (No train), Case-2 (Train as mass), Case-3 (Train stop), Case-4 (Train moving ($v=20$ m/s)) の 4 ケースを行う.

4. 解析結果 4.1 軌道桁の応答 Fig.4 に示すのは II 種地盤の地震波を入力する場合の桁中央点の水平加速度応答である. 図により, 鋼支承の場合, No train と Train as mass の R.M.S 値はほぼ変わらない. ゴム支承の場合, No train に比べ, Train as mass の方が小さくなっている. 車両の動的影響については, 鋼支承の場合, Train stop と Train moving では橋梁の応答が小さくなり, 車両がダンパーとして働くことがわかる. 一方, ゴム支承の場合, 逆の傾向が見られ, 車両を振動系と考慮する場合, 橋梁の応答がむしろ大きくなることわかる.

4.2 支承のせん断力 鋼支承の耐震性能評価については, Train as mass の場合, 支承のせん断力は一番大きい (Fig.5 参照). GII の場合, 支承の最大せん断力は 18.55 tf で, 設計値 16.88 tf をわずかに超える.

4.3 車両の応答 地震時に車両の水平加速度はかなり大きくなっている (Fig.6 参照). I 種地盤に比べ (図省略), II 種地盤の方が走行車両の加速度が大きい. またゴム支承を利用することにより, 走行車両水平加速度がかなり大きくなっている. そのため, 地震時の乗客の不安感について検討を要すると考えられる.

5. 結論 鋼支承の場合, 車両はダンパーとして働くことが確認できた. 一方, ゴム支承の場合, 車両の影響により, 橋梁の応答が大きくなることわかる. そのため, 車両を付加質量とする設計法は過少評価である場合がある. 鋼支承の耐震性能評価については, 最大せん断力は設計値を超える場合がある. また, 地震時に車両の水平加速度がかなり大きくなるため, 乗客の不安感の評価を要する.

参考文献

- 1) C. W. Kim, M. Kawatani: Effect of train dynamics on seismic response of steel monorail bridges under moderate ground motion, Earthquake Engineering & Structural Dynamics. Vol.35, pp.1225-1245, 2006.
- 2) 川谷充郎, 金哲佑, Doan Quang Vu, 藤本裕昭, 谷直彦: 跨座型モノレール PC 軌道桁の走行車両による振動計測および乗り心地評価, 土木学会第 64 回年次学術講演会, I-292, 2009.9.
- 3) 川谷充郎, 金哲佑, Doan Quang Vu, 藤本裕昭, 谷直彦: モノレール PC 軌道桁の車両走行振動計測, 土木学会関西支部年次学術講演会, I-8, 2009.5.
- 4) Japan Road Association: Japan Specifications for Highway Bridges, Part V: Seismic Design, 2002.

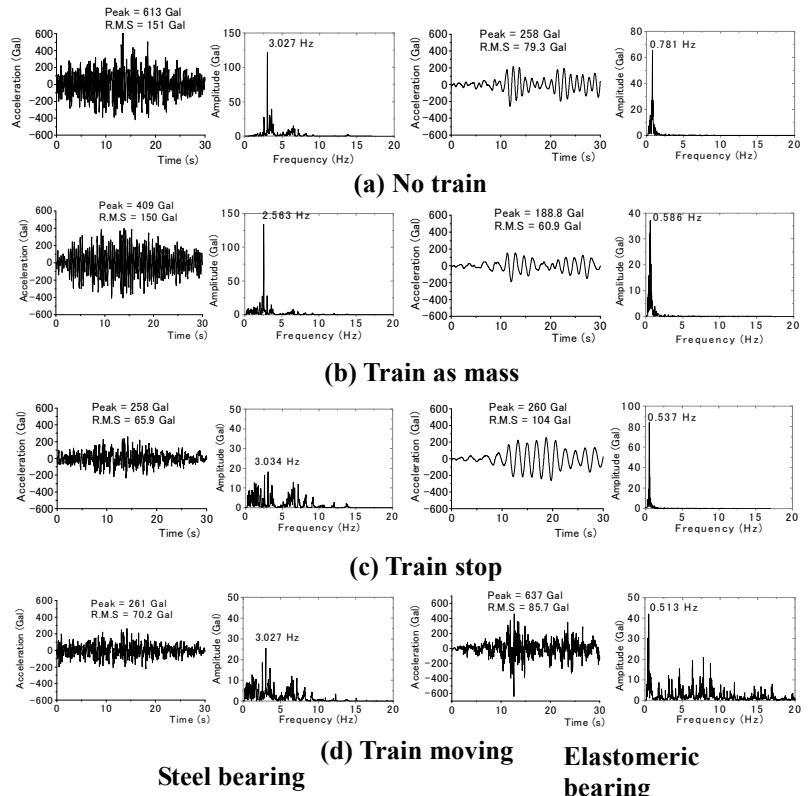


Fig.4 Horizontal acceleration of span center point (GII-Moderate)

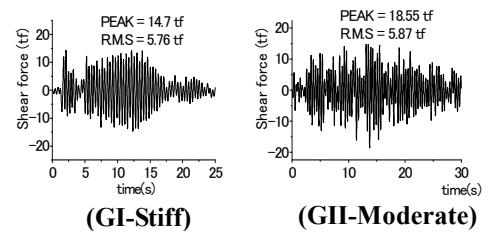


Fig.5 Shear force of bearing

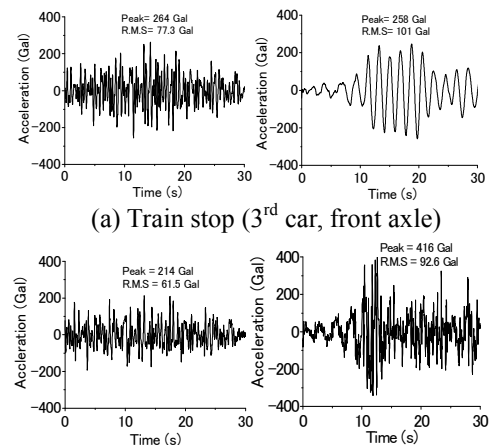


Fig.6 Acceleration of train during earthquake (GII-Moderate)