

跨座型モノレール PC 軌道桁上走行車両の乗り心地評価

神戸大学大学院 フェロー 川谷 充郎
神戸大学大学院 学生員 ODoan Quang Vu

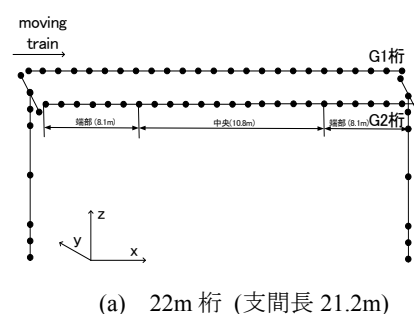
神戸大学大学院 正会員 金 哲佑
パシフィックコンサルタンツ(株) 正会員 谷 直彦

1. はじめに モノレール PC 軌道桁においても建設コストの削減を目指し長スパン化が検討されている。一方、従来桁より支間長が長くなることから、車両の乗り心地の低下が懸念されている。鋼軌道桁の合理化および長スパン化による乗り心地への影響に関してはすでに検討されているが¹⁾ PC 軌道桁の長スパン化による乗り心地への影響はまだ検討されていない状況である。本研究では、橋長が異なる 2 つの PC 軌道桁を対象とし、跨座型モノレール特有の車両との連成振動を考慮した動的応答解析を行うことにより、車両の乗り心地を評価する。

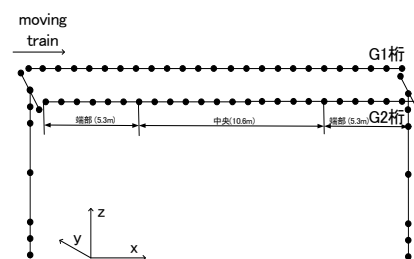
2. 解析モデル 2.1 PC 桁モデル 全長 22m (支間長 21.2m, 以下 22m 桁と称する) と全長 28m (支間長 27.0m, 以下 28m 桁と称する) の PC 桁を対象とする (Fig.1 参照)。PC 桁の材料特性としてヤング係数は 38Gpa とし、せん断弾性係数は 16.5Gpa とする。下部工は参考文献 2) の鋼軌道桁の検討で利用したものと同じ諸元である。桁の断面諸元は Table 1 に示す。ただし、28m 桁の場合、ゴム支承の利用を検討していることから、ゴム支承は次のばね定数をもつばね要素として考慮する。ばね定数は $K_x = 208$ (kN/m), $K_y = 663$ (kN/m), $K_z = 162415$ (kN/m), $K_{\theta x} = 342726$ (kN.m/rad), $K_{\theta y} = 3464$ (kN.m/rad) とする。

2.2 モノレール車両 3次元モノレール車両モデルを Fig. 2 に示す³⁾。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。車両の代表的振動特性として、バウンス振動の振動数は 1.205Hz、車体の水平振動は 1.713Hz であり、ローリングについては 1.020Hz であることを事前に確認している。

3. 解析条件 橋脚の下端は固定とし、1次・2次固有振動モードの減衰定数は 0.02 とする。事前検討より空車および走行速度が速い状態で、車両の応答が大きくなることを確認している。そこで、解析条件として走行速度は制限速度である $v=20\text{m/s}$ (72km/h) とし、空車状態 (262.5kN) での橋梁-車両連成振動解析を行う。また、モノレール車両 1 両目の前・後車軸での鉛直および水平加速度応答に着目し、乗り心地評価を行う。ただし、ゴム支承採用の場合、水平方向の乗り心地が鉛直より厳しい結果となっており、今回は水平の乗り心地のみについて報告する。



(a) 22m 桁 (支間長 21.2m)



(b) 28m 桁 (支間長 27.0m)

Fig.1 PC 桁解析モデル

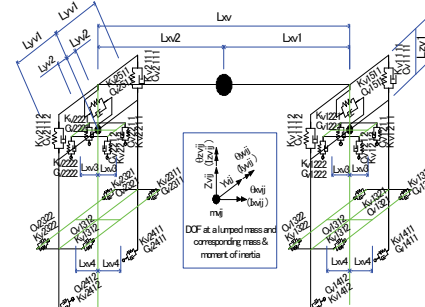


Fig.2 車両モデル

Table 1 PC 桁の諸元

	断面積 A (m ²)		I_z (m ⁴)		I_y (m ⁴)		ねじり定数(m ⁴)		単位長さ質量(t/m)	
PC 桁	端部	中央部	端部	中央部	端部	中央部	端部	中央部	端部	中央部
22m 桁	1.075	0.8844	0.0725	0.0635	0.2201	0.2058	0.3070	0.3070	2.687	2.211
28m 桁	1.075	0.927	0.0725	0.0714	0.2201	0.2088	0.3070	0.3070	2.864	2.233

キーワード： 跨座型モノレール, PC 軌道桁, 橋梁-車両連成系, 動的応答解析, 乗り心地評価

連絡先： 〒657-8501 神戸市灘区六甲台町 1-1 神戸大学大学院工学研究科市民工学専攻 川谷研究室 Phone:078-803-6278

軌道面凹凸として鋼軌道桁での計測凹凸プロファイル³⁾に基づきモデル化された凹凸スペクトルを用いてシミュレーションした40サンプルの波形を用いる。路面凹凸のパワースペクトル密度関数として式(1)を用いる。

$$S_{z_0}(\Omega) = \alpha/(\Omega^n + \beta^n) \quad (1)$$

ここに、 $S_{z_0}(\Omega)$ は路面凹凸パワースペクトル密度であり、 Ω は路面の空間周波数を示す。式(1)の各パラメータは走行面、案内面、安定面それぞれに対して
($\alpha=0.0005, \beta=0.35, n=3.00$) ,
($\alpha=0.0006, \beta=0.5, n=2.80$) ,
($\alpha=0.0006, \beta=0.5, n=2.60$) を利用する。

4. 乗り心地評価 モンテカルロシミュレーションより得られる

40個の軌道面凹凸サンプルそれぞれに対する橋梁-車両連成振動解析を行い、各解析結果の平均値(mean)と標準偏差(σ)を用いて乗り心地評価を行う。乗り心地の評価基準として、以下のISOと鉄道総研の基準を利用する。

- (1)「全身振動暴露に関する評価指針(ISO-2631)」⁴⁾：動的応答解析から得られた車体加速度を用いて1/3オクターブ分析を行い、人間が不快に感じる振動加速度の許容限界曲線と比較して不快限界時間の評価を行う。
- (2)「車両乗り心地管理規準：鉄道総合研究所」⁵⁾：動的応答解析から得られた車体加速度を用いて1/3オクターブ分析を行い、人間の振動感覚をもとにする乗り心地係数と比較する。

車両の代表的水平方向の加速度応答とISO-2631による水平方向の乗り心地評価結果をFig.3に示す。28m桁の車両加速度は22m桁の車両加速度とほぼ同じであり、長スパン化による影響は小さいと考えられる。一方、28m桁の場合、ゴム支承の採用により車両加速度が大きくなっていることが分かる。乗り心地評価については、22m桁の場合、車両の後軸の不快限界時間は8時間に達している。28m桁の鋼支承の場合も不快限界時間は8時間に達しており、22m桁と同じ乗り心地レベルを有することが分かる。ゴム支承採用の28m桁の場合、不快限界時間は2.5時間に達している。ゴム支承の採用が車両の水平方向の乗り心地を低下させるおそれがあることが分かる。しかし、今回対象とした大阪モノレールの場合、最大乗車時間はおおよそ40分であることより、長スパン化とゴム支承の作用に伴う乗り心地の問題は生じないと考えられる。なお、鉄道総合研究所の基準による乗り心地評価は「非常に良い」となっていることを確認しており、ここでは省略する。

参考文献

- 1) C.H.Lee, C.W.Kim, M..Kawatani, N. Nishimura, T. Kamizono “Dynamic response of a monorail bridge under moving trains and riding comfort of trains”, *J. of Eng. Struct.* Vol. 27 (2005), pp.1999-2013.
- 2) 季昌勲, 神薗卓海, 薄原武志, 金哲佑, 川谷充郎, 西村宣男： 跨座型モノレール合理化鋼軌道桁上走行車両の乗り心地評価, 土木学会第59回年次学術講演会, I-430, 2004.9.
- 3) C.H.Lee, M..Kawatani, C.W.Kim, N. Nishimura, Y. Kobayashi “Dynamic response of a monorail steel bridge under a moving train”, *J. of Sound and Vibration*, Vol. 294 (2006), pp.562-579.
- 4) ISO(1985), Evaluation of Human Exposure to Whole-Body Vibration-Part 1:General requirements, ISO2631/1.
- 5) 谷藤克也：鉄道車両の乗り心地管理と強制振動計算法に関する研究, 鉄道技術研究所 鉄道技術研究報告, No. 1321, 1986.3.

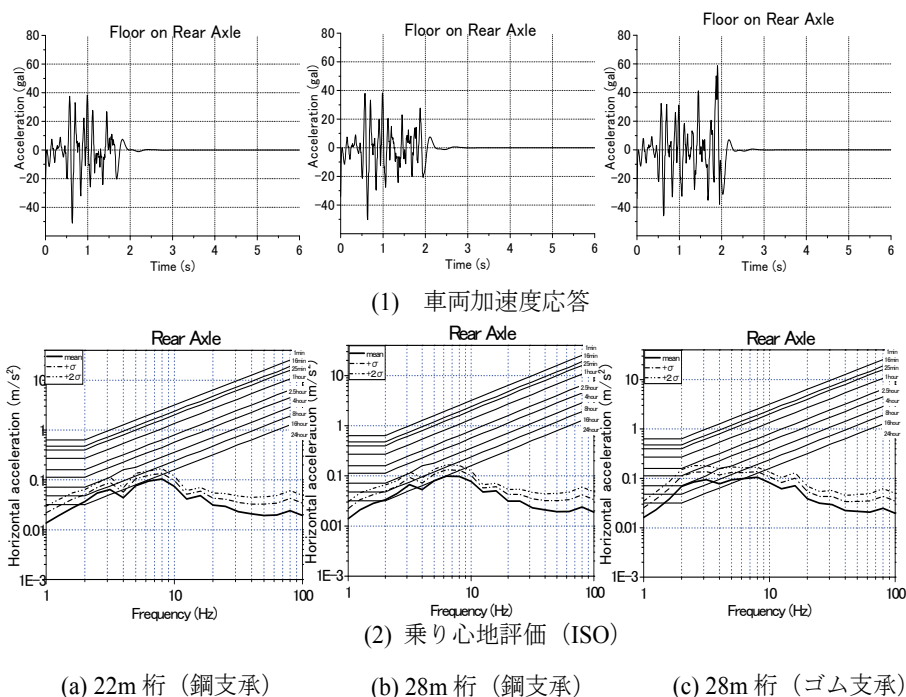


Fig.3 車両加速度と乗り心地評価