

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

神戸大学大学院 フェロー 川谷 充郎 神戸大学大学院 正会員 金 哲佑
 神戸大学大学院 学生員 ○Doan Quang Vu 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 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。現在の大阪モノレール PC 桁の標準桁長は 22m である。それを 28m にすると建設費を 14%削減できる。しかし、ゴム支承や桁長 28m の PC 軌道桁を使用する際に、支点上の鉛直変位やたわみ量が増大し、振動特性が変化することから、走行車両の乗り心地への影響が懸念される。現在、ゴム支承や新規標準 PC 軌道桁は安全性を確認するための実証実験を行っているところであり、供用区間での実証を行うことができない。したがって、各条件での振動解析を行い、それらの乗り心地への影響を確認している¹⁾。本研究では、乗り心地照査を行うにあたっての振動解析を検証するため、PC 軌道桁の走行車両による振動計測を行うとともに、軌道面の凹凸計測を実施する。さらに、実測の路面凹凸を用いて、28mPC 軌道桁上走行車両の乗り心地評価を行う。

2. 計測概要 2.1 対象橋梁 PC 桁のスパン長 20.2m, 橋脚高さ 10.6m で、コンクリート強度は $\sigma_{c1}=60\text{N/mm}^2$ (桁) と $\sigma_{c2}=27\text{N/mm}^2$ (橋脚) である。

2.2 実測方法 車両走行実験では、桁中央の振動加速度と鉛直たわみを計測する。また、実験車両 (試運転 4 両編成, 乗客なし) の 2 両目後輪で車軸および床面に 3 方向の加速度計を設置し計測する。路面凹凸計測ではレーザー変位計を用いて、前後の径間を含めて 3 径間を計測する。

3. 解析モデル 3.1 3 径間 PC 桁モデル 全長 21m の実測桁 (支間長 20.2m, 以下 21m 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)。21m 桁と 28m 桁の材料特性としてヤング係数はそれぞれ 55Gpa と 64Gpa 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、実測桁の载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 ($1.56 \times 35 \text{ Gpa} = 55 \text{ Gpa}$, $1.69 \times 38 \text{ Gpa} = 64 \text{ Gpa}$)。橋脚は実測橋梁の構造を反映してモデル化している。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 $K_x = 208 \text{ (kN/m)}$, $K_y = 663 \text{ (kN/m)}$, $K_z = 162415 \text{ (kN/m)}$, $K_{\theta x} = 342726 \text{ (kN.m/rad)}$, $K_{\theta y} = 3464 \text{ (kN.m/rad)}$ とする。

3.2 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。

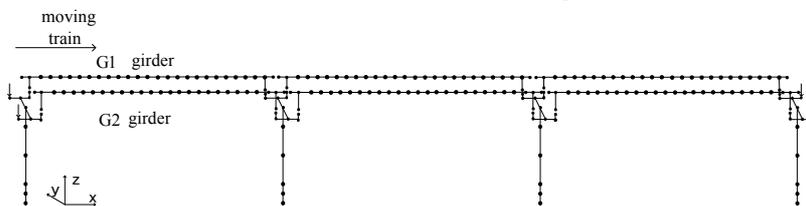


Fig.1 3-span viaduct model

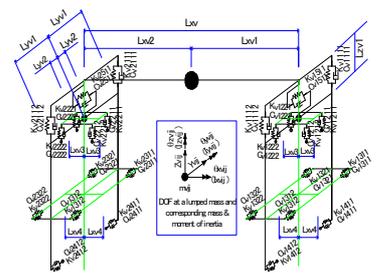


Fig.2 Car model

Table 1 Structural properties of PC girder

	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)	
	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
21m 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 Phone:078-803-6278

土木学会第 64 回年次学術講演会 講演概要 (2009 年 9 月)

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, バウンシング振動の振動数は 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.

4. 解析条件 橋脚の下端は固定とし, 1 次・2 次固有振動モードに対応する減衰定数は 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 2 両目の後車軸上車両床面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. 路面凹凸は 21m 桁における実測データを用いる.

5. 実測桁における解析結果と実測結果の比較 Fig.3 に桁支間中央の鉛直変位を示す. 変位のピークはおおよそ 4mm である. Fig.4(1)に車両の鉛直加速度を示す. 解析の鉛直加速度の R.M.S 87.0 Gal に対して, 実験の鉛直加速度は 51.7 Gal である. 解析結果は実験結果よりかなり大きい. Fig.4(2)に車両の水平加速度を示す. 解析と実験の R.M.S はそれぞれ 11.7 Gal と 27.0 Gal で, 実験結果は解析結果の 2 倍以上になっていることがわかる. 今後, 解析と実験結果の差の原因を検討する必要がある.

6. 乗り心地評価 鉄道総合研究所の車両乗り心地管理規準²⁾を用い, 28m 桁上走行車両動的応答解析から得られる車体加速度を用いて 1/3 オクターブ分析を行い, 人間の振動感覚による乗り心地係数 (Table 2 参照) と比較する. Fig.5 に車両加速度と乗り心地評価を示す. 鉛直方向については, 鋼支承の場合の乗り心地評価は「普通」で, ゴム支承の場合の乗り心地評価は「良い」であることが分かる. 水平方向については, ゴム支承の作用によって車両の加速度応答が大きくなっているが, 乗り心地評価はともに「非常に良い」状態である. ここで特記すべき点は, Fig.4(2)に示すように, 21m 桁走行車両の実測水平加速度の振幅が解析加速度の振幅より大きい, 乗り心地評価では両方ともに「非常に良い」ことが事前検討より分かっている. このことを踏まえると, 28m 桁の場合も「非常に良い」あるいは「良い」の範疇に入る可能性が高いと考えられる. 今後, 車両の水平振動に対する解析と実測結果の差の原因分析を進めていく必要がある.

【参考文献】

1) 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 軌道桁上走行車両の乗り心地評価, 土木学会第 63 回年次学術講演会, I-593, 2008.9.
 2) 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.

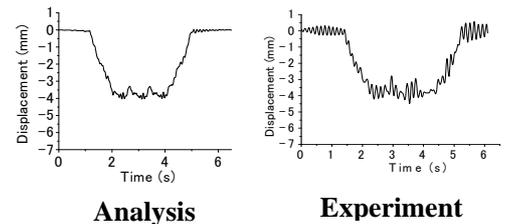
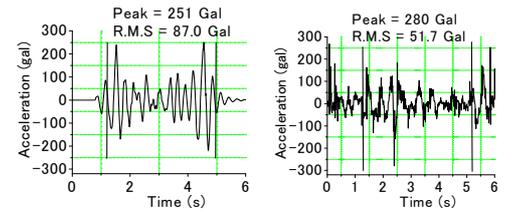
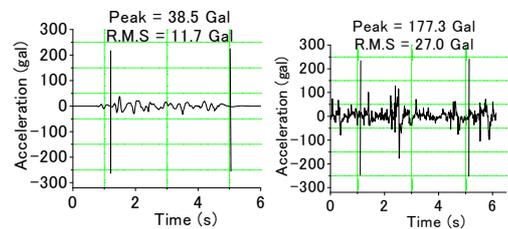


Fig.3 Vertical displacement of girder



(1) Vertical acceleration

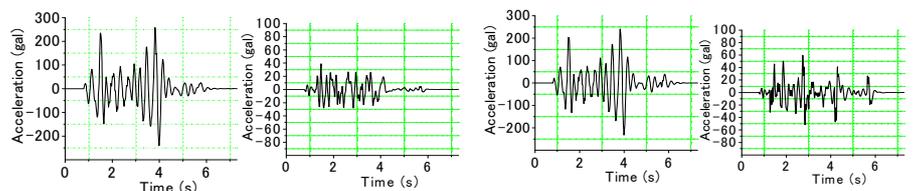


(2) Horizontal acceleration

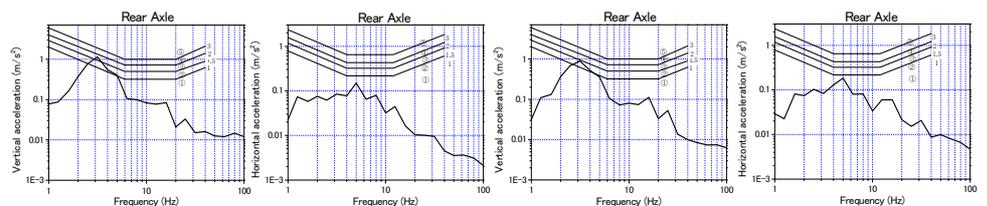
Fig.4 Acceleration of 2nd train car moving on girder of 21.0 m length

Table 2 Category of riding comfort

区分	乗り心地係数	乗り心地の評価
①	1以下	非常に良い
②	1~1.5	良い
③	1.5~2	普通
④	2~3	悪い
⑤	3以上	非常に悪い



(1) Acceleration of 2nd train car



(2) Riding comfort of monorail train

Vertical Horizontal Vertical Horizontal
 28m girder (Steel bearing) 28m girder (Elastomeric bearing)

Fig.5 Acceleration and riding comfort of 2nd train car