

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

大阪大学大学院 学生員 李 昌勲 神戸大学工学部 フェロー 川谷 充郎
 大阪大学大学院 学生員 蒲原 武志 神戸大学大学院 学生員 神園 卓海
 大阪大学大学院 フェロー 西村 宣男 神戸大学工学部 正会員 金 哲佑

1. 研究概要 モノレール軌道桁においても建設コスト縮減を目的として合理化が検討されている¹⁾。合理化軌道桁では、構造物を簡略化するために大幅に横桁・横構を省略していることから、車両走行による横揺れの増大が懸念され、走行車両の乗り心地を検討しなければならない。著者らはそのための解析手法を開発し²⁾、さらにその妥当性の検証のため現地走行実験を行った³⁾。本研究では合理化軌道桁について固有値解析結果から振動特性を把握し、また車両走行による連成振動解析から車両の乗り心地について、1/3 octave分析結果とISO2631による許容限界曲線と比較し検討を行う。

2. 合理化鋼軌道桁の固有振動特性

2.1 解析モデル 支間長 42.8mの合理化桁を対象とし¹⁾、その一般図をFig. 1に示す。また、1節点6自由度を有する梁要素の有限要素にモデル化した図をFig. 2に示す。上部工と下部工との連結部(支承)は二重節点を導入しその特性を表現する。質量は整合質量とし、橋脚下端固定とする。

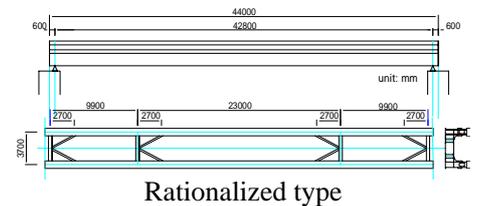


Fig. 1 General layout of monorail bridge

2.2 固有値解析 Fig. 2に示す解析モデルに対する固有値解析結果をTable 1に示す。Table 1では水平方向の曲げ、鉛直方向の曲げ、橋軸まわりのねじり、橋脚の曲げの4方向の卓越モードを示している。

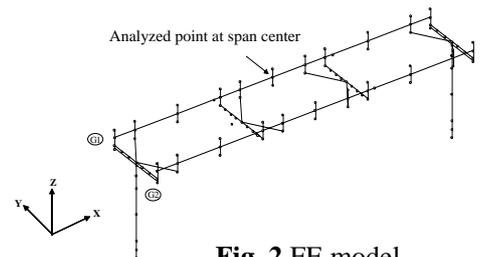


Fig. 2 FE model

3. 車両の固有振動特性 **3.1 車両モデル** 車両の3次元モデルをFig. 3に示す。車体、台車(前、後)について各々y, z, x, y, zの5自由度を有し、計15自由度振動系とする。Table 2にその構造諸元を示す。

3.2 車両の固有振動数 車両モデルの運動方程式をもとに固有振動数を求める。空車の場合の車両モデルの水平、鉛直の固有振動数はそれぞれ0.912Hz, 1.207Hzであり、桁の固有振動数は水平1次、鉛直1次それぞれ1.797 Hz, 2.993 Hzであることから両システムで共振の虞は少ないと考えられる。

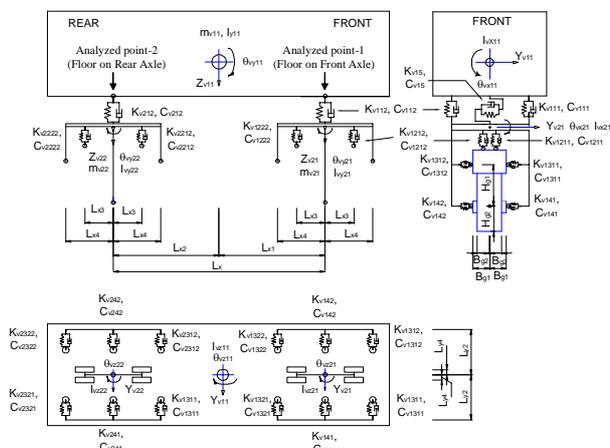


Fig. 3 Idealized monorail train with 15DOF

Table 1 Natural frequencies of monorail bridge

Mode No.	Rationalized bridge	Mode No.	Rationalized bridge
1	Horizontal bending 1st/T1 1.797 Hz	6	Horizontal bending 1st/T2 7.455 Hz
2	Vertical bending 1st 2.993 Hz	7	Horizontal bending 2nd/T2 8.730 Hz
3	Horizontal bending 2nd/T1 4.883 Hz	8	Torsion 1st/T2 9.252 Hz
4	Torsion 1st/T1 5.361 Hz	9	Horizontal bending 3rd/T1 9.444 Hz
5	Pier 1st (C; vertical bending) 6.129 Hz	10	Horizontal bending 2nd/T1 (C; Pier) 10.259 Hz

* C : coupled with a pattern of related mode

** T1: both of the tramways have similar phase ; T2 : both of the reverse phase

キーワード：跨座型モノレール，合理化軌道桁，橋梁交通振動，動的応答解析，乗り心地

連絡先：〒565-0871 大阪府吹田市山田丘 2-1 大阪大学大学院工学研究科土木工学専攻 Phone;06-6879-7599, Fax;06-6879-7601

4. 動的応答解析 4.1 路面凹凸 路面凹凸パワースペ

クトル密度は路面周波数の指数関数として近似される。実測時³⁾に走行面,案内面,安定面の一測線のみ計測し,そのデータを基にMonte-Carlo Simulationにより得られる路面凹凸サンプルを解析に用いる。測定値と最もProfilesの形状およびR.M.S.値に近いものを 4.2 節の解析に用いる。

4.2 動的応答特性 車両走行速度 10m/s(36km/h)で4両走行する場合について合理化桁の動的応答をスパン中央における鉛直方向および水平方向の変位応答値およびフーリエスペクトルとして Fig. 4 に示す。水平方向の静的変位は,鉛直荷重によって生じるねじりの影響である。周波数特性は,鉛直方向は 2.0Hz が卓越し,水平方向は,1.4Hz が卓越していることが分かる。

4.3 車両の乗り心地の評価 実測路面凹凸の PSD 曲線式から Monte-Carlo Simulationによって人工発生した路面凹凸サンプル 40 個を用い,車両の乗り心地の統計的評価を行う。Fig. 5 には 2 両目の前軸上床面の車両振動加速度の 1/3 オクターブ分析結果とISO2631 による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示す^{4),5)}。人間が感じる最も敏感な周波数範囲は鉛直,水平それぞれ 4~8 Hz, 1~2 Hzである⁴⁾。図の中に太線は 40 ケースの平均値 (mean),一点鎖線は標準偏差値(+)の閾値を,二点鎖線はその倍(+2)の閾値を示す。分析の結果について鉛直では+2 感覚閾値の暴露時間約 2 時間の不快限界に達している。水平では鉛直より振動感覚閾値を下回っている傾向がみられる。大阪モノレール全長運行所要時間 36 分を勘案すると乗り心地については問題ないと判断できる。

参考文献

- 1) 大阪モノレール合理化軌道桁研究会：大阪モノレール鋼軌道桁の合理化構造の提案,合成軌道桁の研究報告概要書,2001.12.
- 2) 李昌勲,神園卓海,蒲原武志,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の走行車両による振動解析,土木学会第 58 回年次学術講演会, I-747, 2003.9.
- 3) 李昌勲,神園卓海,小林義和,金哲佑,西村宣男,川谷充郎,蒲原武志,ピンマソン アノンコン：跨座型モノレール鋼軌道桁交通振動の現地実測と三次元解析,平成 16 年度土木学会関西支部年次学術講演会,2004.5.
- 4) ISO(1985), Evaluation of Human Exposure to Whole-Body Vibration-Part 1:General requirements, ISO2631/1
- 5) ISO(1989), Evaluation of Human Exposure to Whole-Body Vibration-Part 2:Continuous and shock-Induced vibration in buildings (1 to 80Hz), ISO2631/2 .

Table 2 Properties of monorail train (vacancy)

m_{11}	14.22×10^3 (kg)	m_{21}, m_{22}	6.20×10^3 (kg)	L_{x1}	4.800 (m)
$I_{\theta 11}$	1.997×10^4 (kg·m ²)	$I_{\theta 21}, I_{\theta 22}$	2.461×10^3 (kg·m ²)	L_{x2}	4.800 (m)
$I_{\theta 11}$	1.717×10^5 (kg·m ²)	$I_{\theta 21}, I_{\theta 22}$	3.488×10^3 (kg·m ²)	L_{x3}	0.7500 (m)
$I_{\theta 11}$	1.717×10^5 (kg·m ²)	$I_{\theta 21}, I_{\theta 22}$	9.688×10^3 (kg·m ²)	L_{x4}	1.250 (m)
k_{z11}	9.0×10^5 (N/m)	k_{z21}, k_{z22}	5.170×10^6 (N/m)	L_{y1}	1.490 (m)
k_{y11}	9.80×10^5 (N/m)	k_{y21}, k_{y22}	6.370×10^6 (N/m)	L_{y2}	1.025 (m)
c_{z11}	2.28×10^4 (N·s/m)	c_{z21}, c_{z22}	2.610×10^4 (N·s/m)	L_{y3}	0.7823 (m)
c_{y11}	3.336×10^3 (N·s/m)	c_{y21}, c_{y22}	1.855×10^3 (N·s/m)	L_{y4}	0.200 (m)
$k_{\theta 11}$	1.029×10^6 (N·m)	$k_{\theta 21}, k_{\theta 22}$	3.385×10^5 (N·m)	L_{z1}	0.457 (m)
$k_{\theta 11}$	2.074×10^7 (N·m)	$k_{\theta 21}, k_{\theta 22}$	2.655×10^6 (N·m)	L_{z2}	0.6300 (m)
$k_{\theta 11}$	2.258×10^7 (N·m)	$k_{\theta 21}, k_{\theta 22}$	6.125×10^6 (N·m)	L_{z3}	1.085 (m)

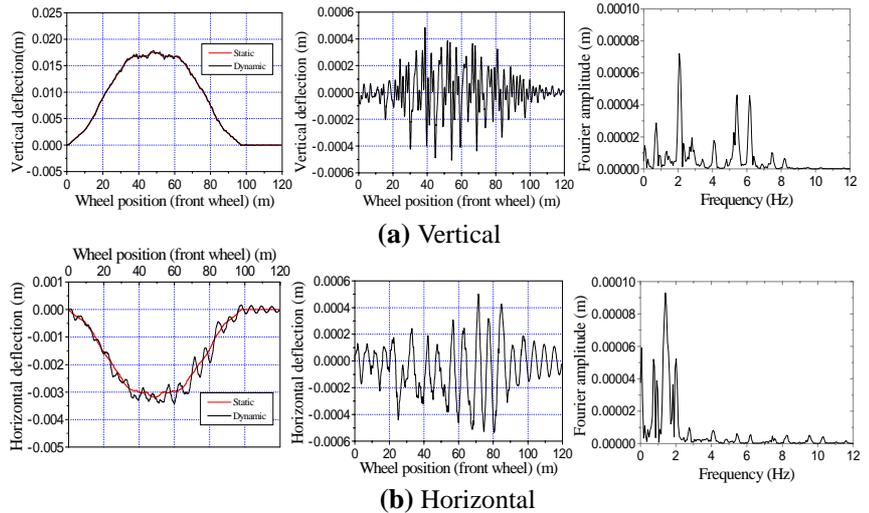


Fig. 4 Displacement at the span center

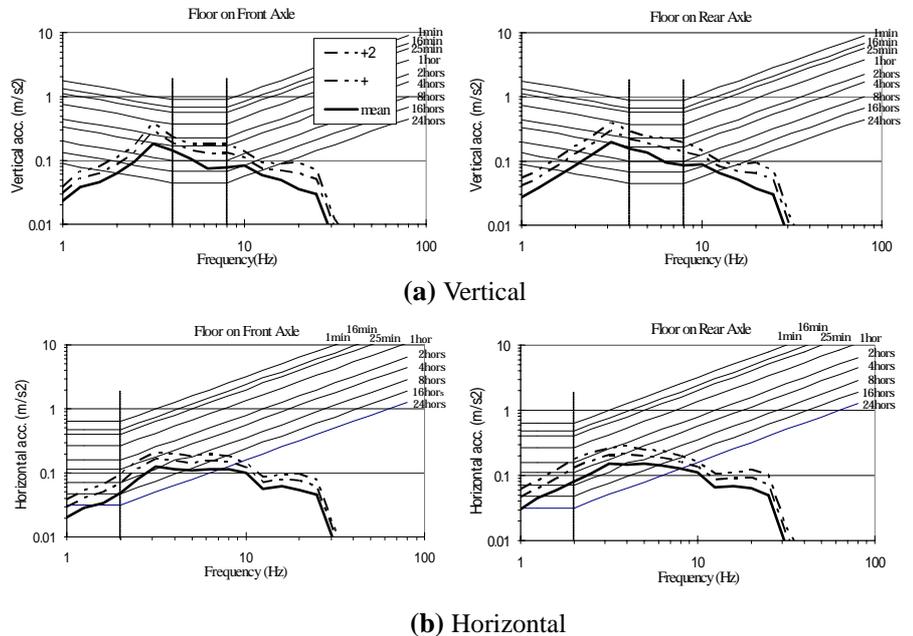


Fig. 5 Riding comfort of monorail train according to ISO2631