

大阪大学大学院 (株)日立造船 大阪大学大学院 大阪大学大学院	学生員 正会員 フェロー 学生員	○李 昌勲 小林 義和 西村 宜男 蒲原 武志	神戸大学大学院 神戸大学大学院 神戸大学工学部 神戸大学工学部	学生員 正会員 フェロー 学生員	神薗 卓海 金 哲佑 川谷 充郎 ピンマソン アノンコン
--	---------------------------	----------------------------------	--	---------------------------	---------------------------------------

1. まえがき 従来のモノレール鋼軌道桁は横桁・横構が桁全長にわたって密に配置されており、車両走行による揺れについて特に問題とならなかった。しかし、建設コスト削減を目的として提案されている合理化軌道桁¹⁾では構造物を簡略化するために、大幅に横桁・横構を省略することから、車両走行による横揺れ振動の増幅が懸念される。これより、走行車両の乗り心地に関する検討が必要となった。跨座型モノレールは自動車や鉄道車両と異なり、桁に対して車輪が鉛直方向だけでなく水平方向にも接地している特徴を有する。そこで、モノレール車両と軌道桁の連成振動を考慮する三次元動的応答解析プログラムが著者らにより開発されている²⁾。本論文では、本解析プログラムの妥当性を検証するために、解析結果と実橋での振動計測結果を比較し、その整合性を確認する。

2. 現地実測 計測は、支間長 34.8m の単純 2 主鋼軌道桁で行う。計測対象およびその項目は下記のとおりである。実測時の乗車人数は計 175 人であり、定員 (129 人/車両) との割合は 34% である。

計測対象	計測項目	計測位置
鋼軌道桁；実測橋	振動加速度 (鉛直方向、橋直水平方向)	L/2 位置(下フランジ張り出し部)
	振動変位 (鉛直方向、橋直水平方向)	
モノレール車両	振動加速度 (鉛直方向、橋直水平方向)	2 両目の前台上上の床面
路面凹凸	走行面、安定面、案内面の凹凸測定	それぞれの面に 1 測線ずつ

3. 動的応答解析

3.1 解析手法 橋梁部分をはりの有限要素 (FEM) でモデル化し、車両系の運動方程式は Lagrange 運動方程式により誘導される。また、橋梁と車両との連成振動方程式は Newmark- β 法を用い、逐次積分によって動的応答を求める²⁾。

3.2 車両モデル Fig.1 に示すように、跨座型モノレール車両は 15 自由度をもち、営業中と同じく 4 両編成でモデル化し、実測時の乗車人数を考慮する。車体の加速度は実測場所と同じ 2 両目の前台上上の床面を着目点として求める。走行速度は実測時の 55km/h とする。Table 1 には本解析に用いる車両の特性を示す。ここで、 m

Table 1 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)
$I_{\theta 21}$	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)
$I_{\theta 31}$	1.717×10^5 (kg·m ²)	$I_{\theta 31}, I_{\theta 32}$	3.488×10^3 (kg·m ²)	L_{x3}	0.7500 (m)
$I_{\theta 41}$	1.717×10^5 (kg·m ²)	$I_{\theta 41}, I_{\theta 42}$	9.688×10^3 (kg·m ²)	L_{y1}	1.250 (m)
k_{z11}	9.0×10^5 (N/m)	k_{z21}, k_{z22}	5.170×10^6 (N/m)	L_{y2}	1.490 (m)
k_{y11}	9.80×10^5 (N/m)	k_{y21}, k_{y22}	6.370×10^6 (N/m)	L_{y3}	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}	3.336×10^5 (N·s/m)	c_{y21}, c_{y22}	1.855×10^5 (N·s/m)	L_{y4}	0.200 (m)
$k_{\theta 21}$	1.029×10^5 (N·m)	$k_{\theta 21}, k_{\theta 22}$	3.385×10^5 (N·m)	L_{z1}	0.457 (m)
$k_{\theta 31}$	2.074×10^7 (N·m)	$k_{\theta 31}, k_{\theta 32}$	2.655×10^6 (N·m)	L_{z2}	0.6300 (m)
$k_{\theta 41}$	2.258×10^7 (N·m)	$k_{\theta 41}, k_{\theta 42}$	6.125×10^6 (N·m)	L_{z3}	1.085 (m)

は質量、 K, C はそれぞればね定数と減衰係数を示す。また z, y, θ は鉛直、水平そして回転の変位を表している。

3.3 橋梁モデル Fig.2 に示すように、区間によって断面剛性が違い、設計計算書から断面諸量など必要な情報を

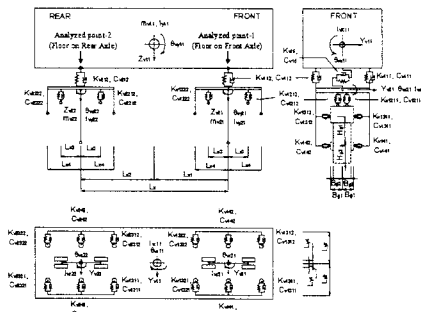


Fig. 1 Idealized monorail train with 15DOF

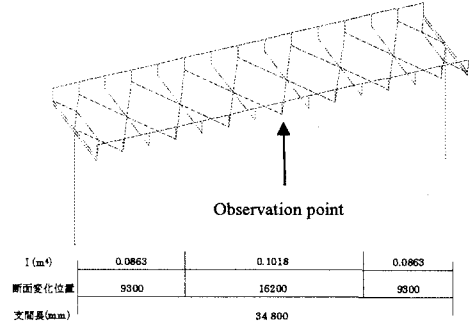


Fig. 2 Bridge model

Changhun LEE, Takumi KAMIZONO, Yoshikazu KOBAYASHI, Chulwoo KIM, Nobuo NISHIMURA and Mitsuo KAWATANI, Takeshi KANBARA and Phimmason ANONGKONE

用い、固有値解析および動的応答解析を行う。モード法で考慮する振動次数は50次($f_{50}=107.9\text{Hz}$)までとし、積分時間間隔 Δt を1/1000secとする。

3.4 路面凹凸 路面凹凸の測定値は作業車両の重量による変位や実測橋の縦

断勾配を含むので、High Pass フィルタにより

その成分を取り除く。その際に用いる遮断周波数(blocking frequency)、通過周波数(passing frequency)は、それぞれ走行面の場合; 0.1cycle/m, 0.15cycle/m, 案内面および安定面の場合; 0.15 cycle/m, 0.2 cycle/m とする。実測時に走行面、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 を用い、そこから得られる路面凹凸サンプルのうち、測定値と最も Profiles の形状および R.M.S 値に近いものを解析に用いる。High Pass フィルタをかけた路面凹凸測定値(Filtering)と解析に用いる路面凹凸モデル(M-Simulation)を Fig.3 に示す。

4. 解析結果と実測

4.1 固有値解析 車両、橋梁ともに固有値解析によって固有振動特性を検討する。橋梁の固有値解析の際には整合質量を用い、橋脚下端固定の境界条件で固有値を求める。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 3.136 Hz, 4.17 Hz から振動特性を比較してみると両システムで共振の値は少ないと考えられる。

4.2 実測値との比較 Fig.4 に示すように、桁の変位について実測値の鉛直方向および水平方向はそれぞれ 12.0mm, 1.05mm であるのに対して、解析値は 13.5mm, 1.33mm で、解析値が実測値より少し大きい。加速度については、鉛直方向および水平方向ともに実測値は解析値より若干大きくなる。スペクトルをみると、少しの差はあるが、解析による桁および車両の加速度スペクトルは、全般的に実測結果をよく再現していることが分かる。

5. まとめ モノレール車両と軌道桁の連成振動を考慮する動的応答解析プログラム

の妥当性を検証するために、営業中の桁において得られた振動計測結果を解析結果と比較し、全般的に解析と実測は近い応答を示しており、本動的応答解析プログラムの妥当性が確認できる。

【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) Kamizono, T., Lee, C.H., Kanbara, T., Kim, C.W., Kawatani, M., Nishimura, N., "Dynamic Response Analysis of Rationalized Monorail Bridge under Moving Trains", Proceeding of the International Workshop on Structural Health Monitoring of Bridge / Colloquium on Bridge Vibration '03, pp.243-248, 2003.

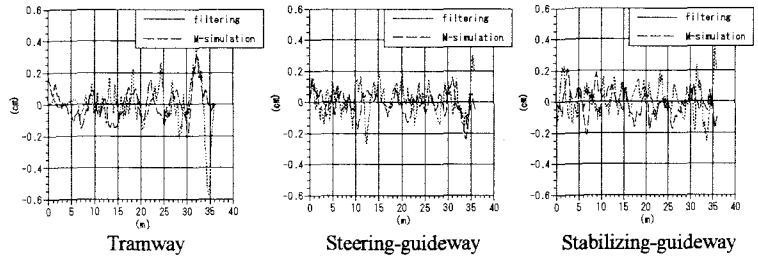


Fig.3 Field-test filtered data of surface profile

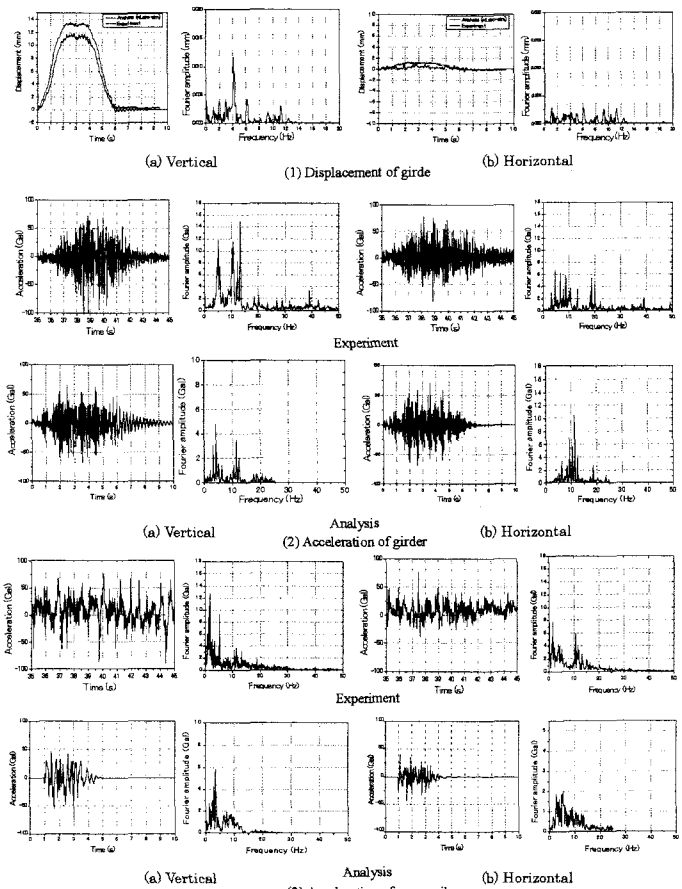


Fig. 4 Experiment vs. Analysis