

山口大学 学生員 楠 窪 剛
正員 會 田 忠 義

1. まえがき 上下及びピッチング運動する車両と橋げたとの相互作用に関する研究は古くから行われ、調査結果は現在の鉄道橋の設計に適用されていることは周知の通りである。一方、左右、ローリング及びヨーイング運動する車両と橋げたの連成振動に関しては、橋げたの水平曲げ剛性が大きいこと、車両が橋げたに与える水平力が鉛直力に比べて小さいことから、等閑視されている。しかし、車両の走行速度の向上に伴い橋げたの動的挙動もこれまでのものと異なることが予想される。本研究は、単一車両（新幹線用）が実橋上を走行するとき、橋げたの動的応答を調査し、速度向上のための検討資料を得るのを目的とする。

2. 車両モデルと橋げたの運動方程式

車両モデルとして、図-1に示す9自由度（車体の左右（ x_b ）、ローリング（ θ_b ）、ヨーイング（ y_b ）、前及び後台車の左右（ x_{t1} ）、ローリング（ θ_{t1} ）、ヨーイング（ y_{t1} ） $i=1,2$ ）の左右・ローリング・ヨーイング系力学モデルを用いた。車両の動特性は表-1の通りである。

橋げたはスパン30m（水門川橋梁）で、曲げとねじりが連成しないと想定したときの断面のx軸に関する1次の固有振動数 ω_{u1}

$$(\omega_{u1})^2 = (\pi/L)^2 \sqrt{EI_{yy}/m} = 4.4.8 \text{ rad/sec}$$

$$\text{y軸に関する固有振動数 } \omega_{u2} = (\pi/L)^2 \sqrt{EI_{xx}/m}$$

図-1

$$= 5.2.3 \text{ rad/sec}$$

$$\text{及びねじり固有振動数 } \omega_{b1} = \sqrt{EI_{\omega}^2 (\pi/L)^4 + GK (\pi/L)^2} / \mu I_p$$

$$= 8.5.5 \text{ rad/sec}$$

である。ここで、 L ：スパン、 EI_{yy} 、 EI_{xx} ：x及び y 軸に関する曲げ剛性、 GK 、 EI_{ω}^2 ：ねじり及び曲げねじり剛性、 m 、 μI_p ：けたの単位長質量及び質量の慣性モーメント。

図-1に示す車両とけた（水平とねじり変位のみを考慮）の連成の運動方程式をマトリックス表示すると、次式となる。

$$M_H \ddot{\alpha}_H + C_H \dot{\alpha}_H + K_H \alpha_H + G_{tc} \ddot{\alpha}_{gH} + G_{te} \alpha_{gH} = 0 \quad \text{----- (1)}$$

-----（車両の運動方程式）

$$M_g \ddot{\alpha}_{gH} + C_g \dot{\alpha}_{gH} + K_g \alpha_{gH} + V_c \ddot{\alpha}_H + V_e \alpha_H = 0 \quad \text{----- (2)}$$

-----（けたの運動方程式）

ここで、 α_H ：車両の変位ベクトル、 α_{gH} ：けたの基準座標ベクトル、 M_H 、 C_H 、 K_H ：車両の質量、減衰及び剛性行列、 G_{tc} 、 G_{te} ：車両に与えるけたの影響を表わす行列、 M_g 、 C_g 、 K_g ：けたの質量、減衰及び剛性行列、 V_c 、 V_e ：けたに与える車両の影響を表わす行列である。

3. 橋げたの動的応答 式(1)、(2)より明らかのように、橋げたの水平曲げ及びねじり振動は、左右、ローリング及びヨーイング運動している車両が通過することによって生ずる。したがって、車両が橋げたへ進入する時の運動状況（初期条件）と、走行速度がけたの応答に大きく影響することが考えられる。この初期条件は、橋げた進入までに車両がどのような軌道不整上を走行したかにより決まる。しかし、車両の振動は車両の固有モ

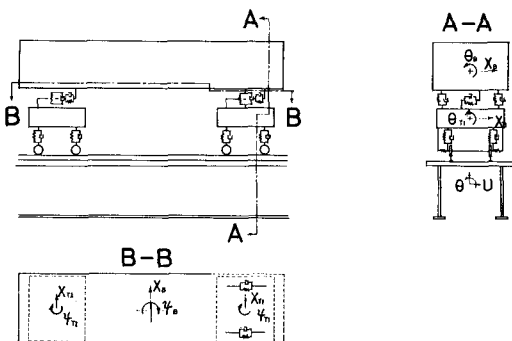


表-1 車両の動特性

次数	固有周期	モード
1	1.712	車体の下心ローリング
2	1.233	車体の上心ローリング
3	0.970	車体のヨーイング
4	0.175	台車の下心ローリング
5	0.113	台車の上心ローリング
6	0.086	台車のヨーイング

ードにより構成されることにより、
橋梁進入時の車両のモードとして、
表-2 に示す三つの Case を想定し
これらの Case について応答を求め
た。

表-2 橋梁進入時の車両の初期条件

	初 期 変 位	初期変位速度
Case I	車両の1次の固有モード(下心ローリング)	0
Case II	車両の2次の固有モード(上心ローリング)	0
Case III	車両の3次の固有モード(ヨーイング)	0

図-2 に Case I の初期条件をも (いずれの Case も車体の前後端の重心位置の水平変位が 1cm となるモードである)

って走行速度 200 km/h
でけた上を走行したときの
スパン中央の水平変位 U と
ねじり角 θ の応答を示す。

表-2 の初期条件に対す
るけたの最大変位と走行速
度との関係を図-3 及び 4
に示す。これらの図の横

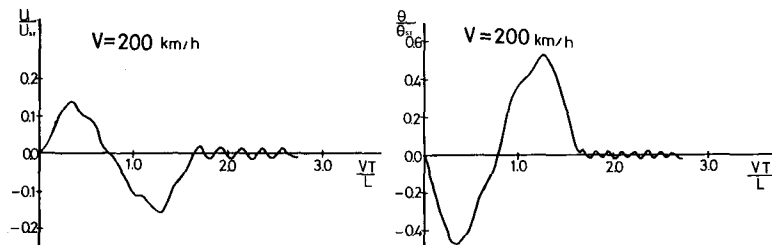


図-2

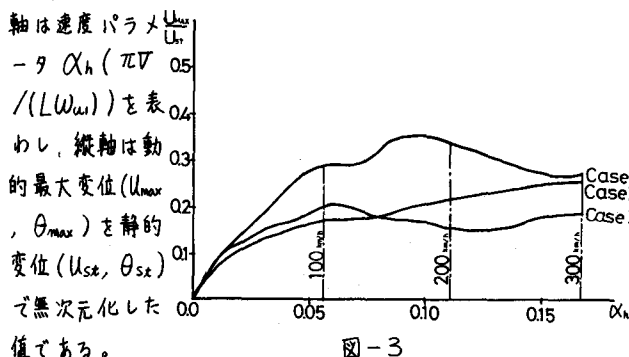


図-3

ここで、 U_{st} 、 θ_{st} はけたのスパン中央に単位の水平力ある
いは単位のねじりモーメントが作用したときの変位である。

水平変位は Case II の影響が大きい。走行速度の向上に伴
う応答変位の顕著な増加はなく、最大変位は高々 $U_{max}/U_{st} = 0.35$ である。一方、ねじり角は、200 km/h 以下
では Case I による応答が著しく最大ねじり角は $\theta_{max}/\theta_{st} = 0.76$ である。しかし、300 km/h 以内では、
速度の向上に伴う応答変位の顕著な増加は見られない。以上の結果より、本研究で対象とした橋梁程度のけた
であれば、速度向上に伴うけたの水平及びねじりの動的応答の増加はなく、現状の橋げたで十分であると考えら
れる。

次に、本研究で対象とした橋げたと等しい ω_{u1} と質量慣性モーメント (μI_0)
を有し、さらに、等価水平ばね定数 $k_h (= \pi E I_{xx} / (2L^3) = \omega_{u1}^2 m L / 2)$ を有す
る橋げたにおいて ω_{o1} と ω_{u1} との比 $\beta (= \omega_{o1} / \omega_{u1})$ の変位に伴う最大応答
の変化状態を $V = 300$ km/h, Case I の初期条件について、求めた。その
結果を図-5 に示す。この結果より $\beta = 1.0$ 以上を持つけたであれば、十
分であるといえる。

以上の結果が、鉄道システムの検討の一手助けとなれば幸いである。

本研究で採用した水門川橋梁の資料は、国鉄、下関工務所 次長 速水
昭正 氏より いただいた。ここに付記し謝意を表す。

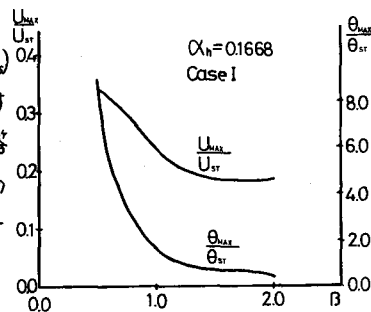


図-5