

高速道路高架橋上部構造の車両モデルによる応答についての考察

長崎大学工学部○学生員 石本賢幸

長崎大学工学部 正 員 岡林隆敏

長崎大学工学部 学生員 竹下 渡

1. はじめに

交通荷重による高速道路高架橋の騒音、地盤振動の原因を検討するために、またこれらの原因となる橋梁振動を制振するために、より厳密な橋梁振動の解析が必要になっている。本研究では、鉸桁橋を有限帯板法でモデル化⁽¹⁾し、高次振動まで考慮するとともに、車両のピッチングを考慮した2軸車両モデルとして解析⁽²⁾を行なった。従来の研究では、橋梁をはりモデルとして扱っているが、短径間の橋梁では幅員方向の変動を無視することはできない。本研究では、幅員方向の変動及び車両モデルによる応答の変化について検討した。

2. 橋梁-車両-路面系の方程式

図-1のように帯板でモデル化した鉸桁橋を考える。 $P_m(t)$ を基準座標 X_m を着目点に関するモード行列とすると、動的応答は次式で示される。

$$w(x, y, t) = \sum_{m=1}^{\infty} S_m(x, y) X_m P_m(t) \quad \text{.....(1)}$$

$$\text{ここで、} S_m(x, y) = (\Phi_1(x), \Phi_2(x), \Phi_3(x), \Phi_4(x)) Y_m(y) \quad \text{.....(2)}$$

で $\Phi(x)$ は帯板の変位関数、 $Y_m(y)$ は境界条件によって決まる関数である。

2自由度系の単一車両が走行する場合、橋梁の基準ベクトル $P(t)$ は、次式より求められる。なお、 $w_1(vt)$ 、 $w_2(vt)$ は、車軸直下の橋梁の変位である。

$$P(t) = [P_1(t)^T, P_2(t)^T, \dots, P_m(t)^T]^T$$

$$\ddot{P}(t) + H\dot{P}(t) + \Omega P(t) = L^{-1}X^T S^1(x, y)^T F_1 + L^{-1}X^T S^2(x, y)^T F_2 \quad \text{.....(3)}$$

$$\text{ここに、} F_1 = c_1 \{ \dot{Z}(t) + \lambda_1 \dot{\theta}(t) - \dot{w}_1(vt) - \dot{r}_1(t) \} + k_1 \{ Z(t) + \lambda_1 \theta(t) - w_1(vt) - r_1(t) \} \quad \text{.....(4)}$$

$$F_2 = c_2 \{ \dot{Z}(t) - \lambda_2 \dot{\theta}(t) - \dot{w}_2(vt) - \dot{r}_2(t) \} + k_2 \{ Z(t) - \lambda_2 \theta(t) - w_2(vt) - r_2(t) \} \quad \text{.....(5)}$$

F_1 、 F_2 は、それぞれ車両の前輪、後輪の接地点力である。

また、 H 、 Ω は、それぞれ橋梁の、減衰行列、固有振動数行列、

L 、 S^1 、 S^2 、 X は、質量行列を対角化した行列、変位関数及び

モード行列、 c_1 、 k_1 は、それぞれ車両の減衰係数及びばね

定数である。 λ_1 、 λ_2 は、車両重心と車軸の距離である。

幅員中央 $X=a$ を走行する車両の鉛直変位と回転変位に関する運動方程式は次のようになる。

$$\ddot{Z}(t) + c_1/m \{ \dot{Z}(t) + \lambda_1 \dot{\theta}(t) - \dot{w}_1(vt) - \dot{r}_1(t) \} + c_2/m \{ \dot{Z}(t) - \lambda_2 \dot{\theta}(t) - \dot{w}_2(vt) - \dot{r}_2(t) \} \\ + k_1/m \{ Z(t) + \lambda_1 \theta(t) - w_1(vt) - r_1(t) \} + k_2/m \{ Z(t) - \lambda_2 \theta(t) - w_2(vt) - r_2(t) \} = 0 \quad \text{.....(6)}$$

$$\ddot{\theta}(t) + c_1 \lambda_1/J \{ \dot{Z}(t) + \lambda_1 \dot{\theta}(t) - \dot{w}_1(vt) - \dot{r}_1(t) \} - c_2 \lambda_2/J \{ \dot{Z}(t) - \lambda_2 \dot{\theta}(t) - \dot{w}_2(vt) - \dot{r}_2(t) \} \\ + k_1 \lambda_1/J \{ Z(t) + \lambda_1 \theta(t) - w_1(vt) - r_1(t) \} - k_2 \lambda_2/J \{ Z(t) - \lambda_2 \theta(t) - w_2(vt) - r_2(t) \} = 0 \quad \text{.....(7)}$$

路面凹凸は、次のような微分方程式の定常解過程でモデル化する。

$$\dot{r}_1(t) + \beta r_1(t) = n_1(t) \quad \text{.....(8)}$$

$$\dot{r}_2(t) + \beta r_2(t) = n_2(t) \quad \text{.....(9)}$$

$n(t)$ は、次のような確率特性で規定される白色雑音過程である。

$$E[n(t)] = 0 \quad E[n(t_1)n(t_2)] = \sigma^2 \delta(t_1 - t_2)$$

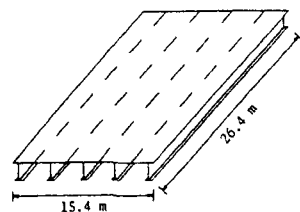


図-1 橋梁のモデル

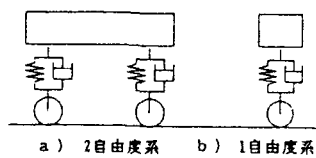


図-2 車両モデル

橋 長	26.4 m
幅 員	15.4 m
総 重 量	4842.2 ton

表-1 橋梁の諸元

ただし、 $E[\]$ は集合平均のための演算子である。 $\delta(t)$ は、Diracのデルタ関数である。なお、 $\sigma^2=2\pi S_0$ である。

(3), (6), (7), (8), (9) で示された変数を拡大された状態空間 $Y(t)$ で表すと

$$Y(t) = [P(t)^T, \dot{P}(t)^T, Z(t), \dot{Z}(t), \theta(t), \dot{\theta}(t), r_1(t), r_2(t)] \quad \text{----- (10)}$$

橋梁－車両－路面系の方程式は、次のような確率微分方程式で記述できる。

$$\dot{Y}(t) = A(t)Y(t) + N(t) \quad ; Y(t_0) = Y_0 \quad \text{----- (11)}$$

3．共分散方程式

本論文で求める量は応答の分散であり、状態変数 $Y(t)$ の共分散

$$R_Y(t) = E[Y(t)Y(t)^T] \quad \text{----- (12)}$$

の要素である。この $R_Y(t)$ の時間的変化は、次の共分散方程式により求めることができる。

$$\begin{aligned} \dot{R}_Y(t) = & A(t)R_Y(t) + R_Y(t)A(t)^T + Q_1(t) \\ & + Q_2(t) + \phi(vt-\lambda, t)Q_{12}(t) \\ & + Q_{21}(t)\phi(vt-\lambda, t)^T \end{aligned} \quad \text{----- (13)}$$

$$R_Y(t_0) = R_0$$

ここで、 $Q_1(t)$, $Q_2(t)$ は、それぞれ前輪、後輪による外力項で、 $\phi(vt-\lambda, t)Q_{12}(t)$, $Q_{21}(t)\phi(vt-\lambda, t)^T$ は、それぞれの相関による外力項である。

4．数値計算と考察

数値計算の対象とした橋梁の諸元を表－1に示した。さらに、橋梁の振動特性と車両の振動特性を表－2、表－3に示した。ここで示した解析結果は、車両が幅員中央を走行し、支間及び幅員の中心における、変位応答の標準偏差を示したものである。2自由度系の車両における相関の有無というのは、車両の前輪と後輪との相関のある場合とない場合についてである。

1) 1自由度系と2自由度系の車両モデルの場合の応答の変化
車両モデルの違いによる応答の変化をみた場合、図－4にみられるように、2次自由度系の場合の応答は1自由度系の場合に比べて小さな値を示している。また、2自由度系の相関の有無による応答の変化は、相関のある方がない方よりも少し大きな値を示している。これは、車軸間の距離と橋梁の振動数によって変化する。なお、この場合における車両の走行速度は $V=20$ (m/s) である。また、前輪と後輪との間隔は $\lambda=3.99$ m である。

2) 2自由度系の車両モデルにおいて走行速度を変化させた場合、図－5にみられるように、走行速度を大きくすると、応答も大きくなる。なお、車両の走行位置及び着目点の違いによる応答変化、幅員方向の応答の変化については、講演時に報告する。

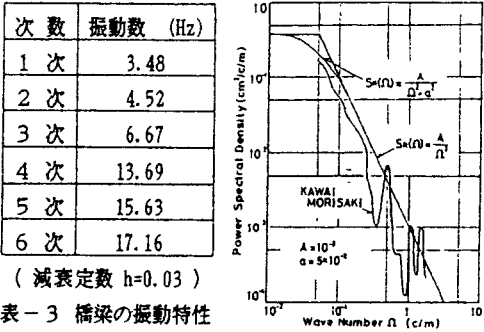
(参考文献)

- (1) 岡林 他 構造工学論文集 Vol. 37A 平成2年
- (2) 川谷 他 土木学会論文集 第392号/1-9 1988年4月

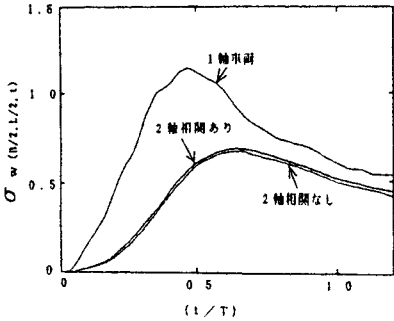
	重量 (ton)	ばね定数 (t/m)	減衰係数 (tsec/m)		
前 輪	4.75	112.86	0.811	総重量 (ton)	20
後 輪	15.95	645.66	4.642	減衰定数	0.03
合 計	20.70	758.52	5.453	固有振動数 (Hz)	3.0

a) 2自由度系の車両
b) 1自由度系の車両

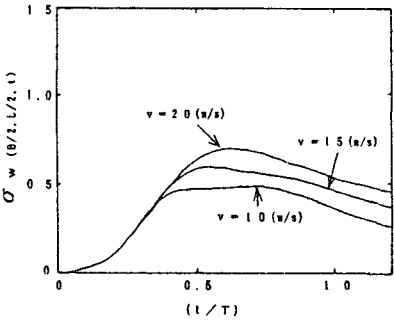
表－2 車両の諸元



図－3 路面スペクトル



図－4 車両モデルの変化



図－5 速度の変化