

走行車両による鉄桁橋の不規則応答解析

長崎大学大学院○学生員 竹下 渡
 長崎大学工学部 正 員 岡林 隆敏
 長崎大学工学部 正 員 小西 保則

1. はじめに

道路橋では、交通騒音、地盤振動等の環境問題や、疲労強度、衝撃係数等の構造強度に関する問題が生じている。これらの問題を評価するための研究は、不規則路面凹凸上を走行する、質量一ばね系でモデル化された車両によって加振された橋梁の動的応答を求めるものとして、従来より行なわれてきている⁽¹⁾。しかし、これらの研究は、いずれも、結果をはりでモデル化して行なわれるため、幅員方向の応答は考慮されていない。本研究では、幅員方向の応答を考慮するものとして、橋梁を有限帯板法⁽²⁾でモデル化した解析を行なった。

2. 有限帯板法による橋梁のモデル化

図-1に示したように帯板でモデル化した鉄桁橋を考える。 $P_n(t)$ を基準座標、 X_n 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。

$$w(x, y, t) = \sum S_n(x, y) X_n P_n(t) \quad \dots\dots\dots (1)$$

$$\text{ここに、} S_n(x, y) = (\Phi_1(x), \Phi_2(x), \Phi_3(x), \Phi_4(x)) Y_n(y) \quad \dots\dots\dots (2)$$

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

3. 橋梁-車両-路面系の確率微分方程式と共分散方程式

$P(t)$ を次のベクトルで定義すると、 $P(t)$ は次式から求められる。

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

$$\ddot{P}(t) + H\dot{P}(t) + \Omega P(t) = L^{-1}S(x, y)X(Mg - M\ddot{Z}(t)) \quad \dots\dots\dots (3)$$

ここに H , Ω , は、減衰行列、固有振動数行列であり、 L , S , X は、質量行列を対角化した $(n \times n)$ 行列、変位関数及びモード行列に関する行列である。

車両の運動方程式として次のような1自由度系の式を仮定する。

$$\ddot{Z}(t) + 2h\omega(\dot{Z}(t) - \dot{w}(a, vt, t) - \dot{r}(t)) + \omega^2(Z(t) - w(a, vt, t) - r(t)) = 0 \quad \dots\dots\dots (4)$$

路面凹凸は $r(t)$ であり、次のような白色雑音過程を入力とする確率微分方程式で表わすことができる。

$$dr(t) = -\beta(t)r(t)dt + dw(t) \quad \dots\dots\dots (5)$$

(1), (2), (3)で示された変数を状態空間で表示すると、

$$Y(t) = [P(t)^T, \dot{P}(t)^T, Z(t), \dot{Z}(t), r(t)]^T \quad \dots\dots\dots (6)$$

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される。

$$dY(t) = A(t)Y(t) + G(t)dW(t) ; Y(t_0) = Y_0 \quad \dots\dots\dots (7)$$

ここに A , G , はそれぞれ $((2n+3) \times (2n+3))$ の行列、 $dW(t)$ はWiner過程のベクトルである。

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 $R_Y(t) = E[Y(t)Y(t)^T]$ の要素となっている。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。

$$\dot{R}_Y(t) = A(t)R_Y(t) + R_Y(t)A(t)^T + G(t)Q(t)G(t)^T \quad \dots\dots\dots (8)$$

	1次	2次	3次	4次	5次	6次	7次	8次	9次	10次
固有振動数(Hz)	2.23	2.51	4.49	8.95	9.24	9.29	10.73	14.47	16.93	20.16

表-2. 橋梁の振動特性

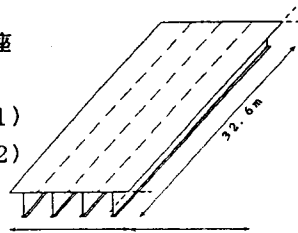


図-1. 橋梁のモデル

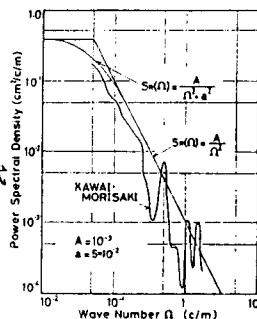


図-2. 路面スペクトル

橋 長	32.6m
幅 員	16.0m
単位面積質量	1240Kg/m²

表-1. 橋梁の緒元

総質量	27250Kg
減衰定数	0.03
固有振動数	3.0Hz

表-3. 車両の振動特性

4. 数値計算と考察

数値計算の対象とした橋梁の緒元を表-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。数値計算結果は変位応答の標準偏差 $\sigma_r(x, y, t)$ を静的変位で基準化して表示する。

a) 幅員方向の変化 図-3は、車両が橋梁の中央を走行した場合と、中央から3mの位置を走行した場合の、数値計算結果であり、車両の走行レーン上におけるスパン中点の変位応答の標準偏差を静的変位で基準化した値を示している。なお、走行速度は $v=20$ (m/s)を使用し、以下の解析も同じ値を用いた。中央から3mの位置を走行した場合の応答はピークが顕著であるのに対し、中央を走行するものは、ピークが顕著に出てこない。両者の応答の最大値は、中央から3mを走行するものが大きな値をとっていて、その比は9:5程度である。図-4は、図-3と同じ条件で走行させた時の、幅員方向の応答の標準偏差を表わしたものである。静的変位についても図に示した。どの車両位置を走らせた場合も、静的な変位が、車両下の点で最大値をとっているにもかかわらず、変位応答の標準偏差は、幅員の端で最大値をとっている。これは幅員の端における、振幅の変動が大きいことを示している。とくにこの現象は、中央を走るものに顕著に現れている。

b) 走行速度による影響 図-5を $v=10, 15, 20$ (m/s)と、変えて計算を行なったものである。着目点は、スパン中点における端点とし、以下の解析も同じようにした。それぞれの最大応答の比は、速度に比例して2:2.7:3.4となっている。

c) 減衰定数による影響 図-6は、減衰定数を $h=0.01, 0.02, 0.05$ と変化させて計算を行なったものである。それぞれの最大応答は減衰定数に対して逆比例している。

d) 固有振動数の変化による影響

図-7は車両の固有振動数を橋梁の固有振動数に合わせて計算を行ったものである。橋梁の固有振動数にはそれぞれ $f=2.23, 2.51, 4.49$ (Hz)を使用した。最大応答は、橋梁のモードの特性が出ていて中でも $f=2.5$ (Hz)のものが一番大きな値を示している。

(参考文献)

- (1) 岡林隆敏, 土木学会論文集, No. 286, 1979
- (2) J. W. SMITH, EARTHQUAKE ENGINEERING & STRUCTURAL DYNAMICS, VOL. 1, 350-370, 1973

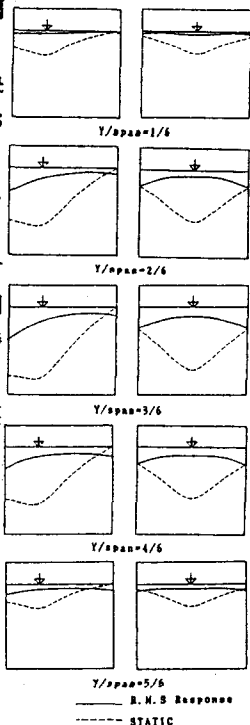


図-4. 幅員方向の変化

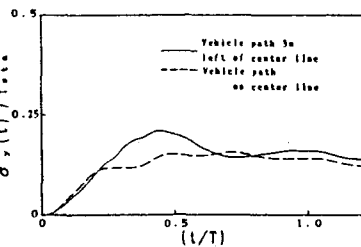


図-3. 支間中点における応答

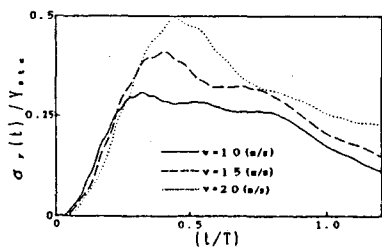


図-5. 走行速度による影響

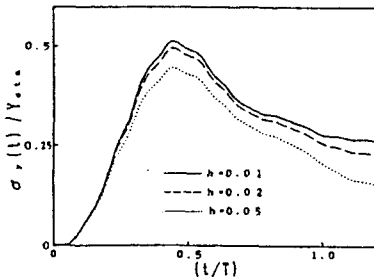


図-6. 減衰定数の影響

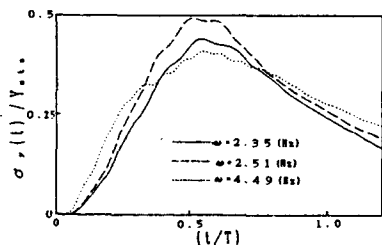


図-7. 車両の振動数による影響