

I-354

走行車両による高速道路高架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－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、橋梁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。解析の対象は、高速道路高架橋の上部構造である。

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。 $P_m(t)$ 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。

$$w(x, y, t) = \sum S_m(x, y) X_m P_m(t) \quad \dots\dots\dots (1)$$

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

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。

3. 橋梁－車両－路面系の確率微分方程式と共分散方程式

単一車両が走行する場合橋梁の基準ベクトル $P(t)$ は、次式から求められる。

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

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

ここに H, Ω は、それぞれ橋梁の減衰行列、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。

幅員中央 $X=a$ を走行する車両の運動方程式として次のような1自由度系を考える。

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

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。⁽¹⁾

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

(3), (4), (5)で示された変数を拡大された状態空間 $Y(t)$ 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。

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

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

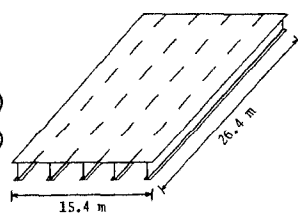
$$R_Y(t) = E[Y(t)Y(t)^T] \quad \dots\dots\dots (8)$$

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。

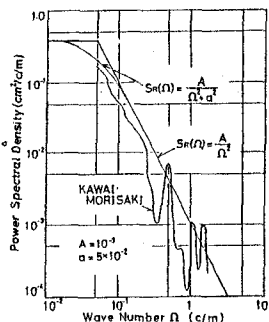
$$\dot{R}_Y(t) = A(t)R_Y(t) + R_Y(t)A(t)^T + G(t)Q(t)G(t)^T, R_Y(t_0) = R_0 \quad \dots\dots\dots (9)$$

	1次	2次	3次	4次	5次	6次	7次	8次
固有振動数(Hz)	3.84	4.52	6.67	13.69	15.63	17.16	18.94	22.70

表－2. 橋梁の振動特性（減衰定数 $h=0.02$ ）



図－1. 橋梁のモデル



図－2. 路面スペクトル

橋 長	26.4m
幅 員	15.4m
総重量	4842.2ton

表－1. 橋梁の緒元

総重量	20ton
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。数値計算結果は変位応答の標準偏差 $\sigma_y(x, y, t)$ で表示した。

a) 中央を走行した場合の応答 図-3は車両が中央を走行した場合の、数値計算結果であり、支間中点における、変位応答の標準偏差を示したものである。有限帯板モデルは、幅員中央部と外側桁の応答を示した。また、はりモデルの応答も示した。

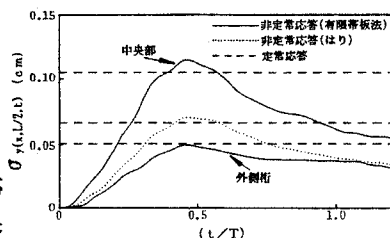


図-3. 中央を走行した場合の応答

図に示した定常応答は、車両が支間中点に位置し、与えられた路面凹凸による車両の接地力を橋梁に加え、定常状態に達した場合を考えた橋梁の応答である。なお、走行速度は $V=20$ (m/s)を使用し、以下の解析でも同じ値を用いた。有限帯板モデルと、はりのモデルでは、かなりの差が生じていて、中央部の応答は、はりの応答より大きな値を示している。定常応答は、これまで、はりのモデルで実証されてきたように、最大応答の良い推定値となる。図は定常応答が有限帯板モデルにおいても良い最大応答の推定値となっていることを示している。

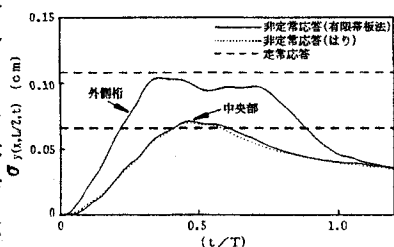


図-4. 外側レーンを走行した場合の応答

b) 外側レーンを走行した場合の応答 図-4は、車両が外側レーンを走行した場合の数値計算結果で、図-3と同じ解析を行なったものである。外側桁の応答が中央部の応答より大きくなっている。中央部の応答は、はりの応答と一致している。外側桁の応答は、はりの応答より大きくなっている。定常応答の値は、中央を走行する場合と同じように、最大応答の値と、ほぼ一致している。

c) 幅員方向の変動 図-5は、支間中点における幅員方向の変位応答の標準偏差を示したものである。図の $L/6 \sim 5L/6$ までの値は、車両の橋梁に対する通過点を示したものである。はりモデルとの比較も行った。有限帯板モデルの応答は、中央を走行する場合が、幅員中央部で、外側レーンを走行する場合が、外側桁で最大値をとっている。はりの応答は、有限帯板モデルの応答に対して、平均的な値をとっている。有限帯板モデルによる最大応答は、はりモデルによる応答よりも大きな値をとっている。

d) 幅員方向の変動の推定 図-6、図-7は、応答の最大値の点における、幅員方向の挙動と、定常応答の結果を比較したものである。多少の誤差は生じているが、定常理論を用いることにより、幅員方向の変動を推定することが可能であることがわかる。

(参考文献)

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

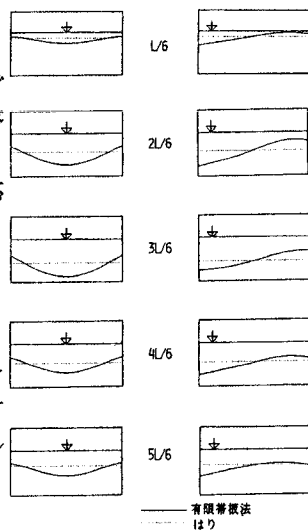


図-5. 幅員方向の変動

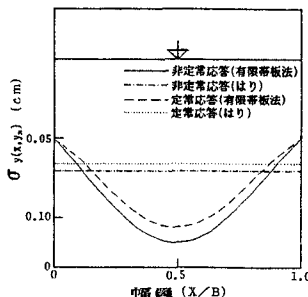


図-6. 幅員方向の変動の推定 (中央走行)

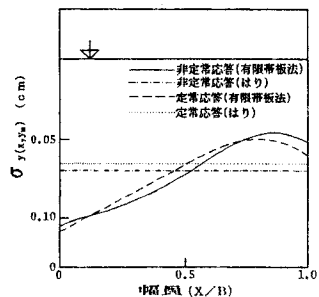


図-7. 幅員方向の変動の推定 (外側レーン走行)