

# 斜張橋の交通振動応答解析と振動実験による評価

北九州市役所 正 会 員 串山智恵美 長崎大学工学部 フェロー 岡林 隆敏  
 長崎県土木部 正 会 員 大塚 正道 長崎大学大学院 学生会員 岡谷まり子

## 1. 研究の目的

長崎県西海町と大島町間に架設された大島大橋は、長支間にも係わらず、幅員が狭いために、細長比が他の斜張橋に比べて大きくなっている。そのため、振動が励起され易くなっており、交通振動による橋梁の使用性を照査する必要があると考えられる。

そこで本研究では、大島大橋を解析事例として、走行車両による橋梁の応答解析を行い、大島大橋の交通振動特性を把握すると共に、交通振動の影響について評価する。また、実橋における振動実験結果と解析結果を比較することにより、本解析法の妥当性を検討した。

## 2. 橋梁 - 車両系の方程式と路面凹凸のモデル化

(1) 路面凹凸のモデル化：路面凹凸のパワースペクトル密度は、

$$S_r(\omega) = S_0 / (\omega^2 + b^2) \quad (1)$$

で近似することができる。ここで、 $S_0 = 2pvA$ 、 $b = 2pva$  であり、 $A$ ：路面の良否を表すパラメータ、 $a$ ：実測結果より決定するパラメータである。

(1) 式のパワースペクトル密度を有する正規性確率過程  $r(t)$  で、路面凹凸をモデル化する。図 1 に路面凹凸のパワースペクトルを示した。

(2) 橋梁 車両 路面系の方程式：路面凹凸  $r(t)$  を含む橋梁上を、図 2 に示す 1 自由度系でモデル化された車両が、一定速度  $v$  で走行するときの橋梁および車両の方程式は、次のようになる。

$$y(x, t) = \sum_{k=1}^n f_k(x) q_k(t) \quad (2)$$

$$\ddot{q}_k(t) + 2h_k w_k \dot{q}_k(t) + w_k^2 q_k(t) = -m_{kz} f_k(vt) \ddot{z}(t) \quad (3)$$

$$\ddot{z}(t) + 2h_0 w_0 \{ \dot{z}(t) - \dot{y}(vt, t) - \dot{r}(t) \} + w_0^2 \{ z(t) - y(vt, t) - r(t) \} = 0 \quad (4)$$

ここで、 $y(x, t)$ ： $x$  点の橋梁の変位応答、 $f_k(x)$ ： $k$  次の振動モード、 $q_k(t)$ ：基準座標、 $z(t)$ ：車両の垂直変位、 $w_k$ 、 $h_k$ ：橋梁および車両の固有円振動数と減衰定数、 $m_{kz}$ ：橋梁の  $k$  次の有効質量  $m_k$  と車両のばね上質量  $m_0$  との質量比である。また、表 1 に、1 自由度系車両モデルの諸元を示した。

また、次のような状態変数を導入すると、

$$q(t) = [q_1(t) \ \dots \ q_n(t)]^T \quad (5)$$

$$X(t) = [q(t)^T \ \dot{q}(t)^T \ z(t) \ \dot{z}(t)]^T \quad (6)$$

$$r(t) = [r(t) \ \dot{r}(t)]^T \quad (7)$$

(2)、(3)、(4) 式は、次式の状態方程式で記述することができる。

$$\dot{X}(t) = A(t)X(t) + B(t)r(t) \quad (8)$$

ここで、 $A(t)$ ：橋梁 - 車両系の係数マトリクス、 $B(t)$ ：外力マトリクスである。

## 3. 振動レベルの評価

加速度応答より、次式を用いて振動レベルを求め、歩行者の不快感を評価する。

$$VAL = 20 \log A/A_0 \quad (\text{dB}) \quad (9)$$

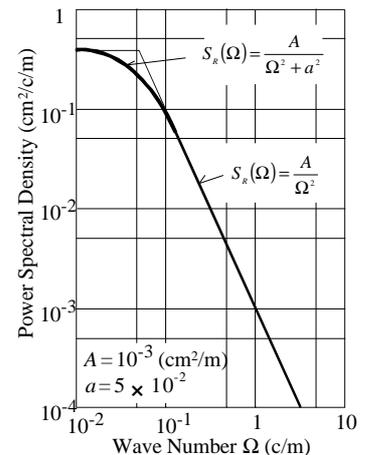


図 1 路面凹凸のスペクトル

表 1 1 自由度系車両の諸元

重量 (tf)	20
固有振動数 (Hz)	3.0
減衰定数	0.03

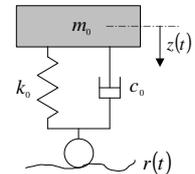


図 2 1 自由度系車両

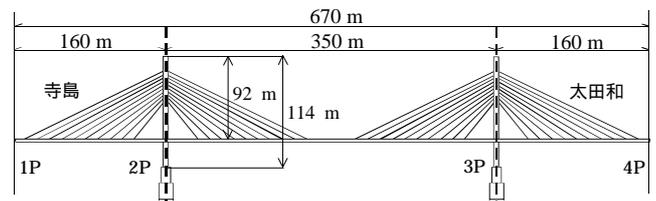


図 3 大島大橋一般図

表 2 大島大橋の諸元

路線名	主要地方道大島大田和線
架設位置	西彼杵郡大島町寺島 ~ 西海町中浦北
道路規格	第 3 種 3 級 (50km/h)
設計自動車荷重	25 (ton)
幅員構成	全幅 9.75m
橋長	全体 1095m (主橋梁 670m 取付橋梁 425m)
形式	3 径間連続鋼斜張橋

キーワード：橋梁振動，交通振動，振動解析，車両走行試験，振動評価

連絡先：長崎大学工学部 (〒852-8521 長崎市文教町 1-11 095-847-1111 内線 2707)

ここで、 $A$ ：加速度応答、 $A_0$ ：基準となる振動加速度レベル( $=10^{-5} \text{ m/sec}^2$ )である。

表 3 固有振動数と対数減衰率

振動次数	3次	4次	6次	7次	10次	
振動モード	曲げ1次	曲げ2次	曲げ3次	曲げ4次	曲げ5次	
振動数 (Hz)	解析値	0.3395	0.4644	0.763	0.873	1.023
	実測値	0.330	0.464	0.790	0.895	1.065
対数減衰率	0.0298	0.0390	0.0394	0.0557	0.0423	

#### 4. 実験・解析結果と考察

##### (1) 解析対象構造物

解析対象である大島大橋は、橋長 670m の 3 径間連続鋼斜張橋である。大島大橋の一般図を図 3、諸元を表 2 に示した。3 次元有限要素法により、節点数 345、要素数 434 の骨組み構造モデルとした。質量は、各節点での集中質量とする。

##### (2) 加振試験

正弦波加振装置を橋梁上の  $L/2$  点、 $3L/8$  点 ( $L$ ：橋長) に設置し、26 個の加速度計で桁の鉛直方向の加速度を測定した。また、各振動次数における自由減衰波形を測定した。表 3 に解析および実験で得られた固有振動数と減衰率、図 4 に振動モード(解析：実線、実験：矢印)を示した。振動数および振動モードともに、解析値と実験値が良く一致している。

##### (3) 走行車両試験

図 5 に、走行速度 50 (km/h)、 $L/2$  点 ( $L$ ：橋長) における、解析および、車両走行実験より得られた加速度応答およびスペクトルを示した。

1) 加速度応答：解析値と実験値を比較すると、ピークの発生傾向がほぼ同じである。r.m.s 値は、解析：0.0286、実験：0.0313 ( $\text{m/sec}^2$ ) であり、解析と実験は同程度のレベルになっている。

2) スペクトル：卓越振動数は、順に 3.33 (Hz)、2.80 (Hz) であり、いずれも走行車両の固有振動数近傍の周波数が卓越している。両者の卓越振動数に差が生じた理由として、解析において用いた走行車両の固有振動数の設定誤差が考えられる。

##### (4) 振動レベルの評価

図 6 に、走行速度 50 (km/h)、 $L/2$  点における、解析および実験より得られた振動レベルをデシベル表示で示した。同図に、一点破線で r.m.s 値も示した。それぞれの r.m.s 値は、解析：69.13、実験：69.91 (dB) であり、解析値と実験値は同程度のレベルになっている。また、道路橋の交通振動の規制値 (第 1 種区域 (住居区域)：昼間 65 (dB)、夜間 60 (dB)) と比較すると、いずれの r.m.s 値も規制値より若干大きくなっている。しかし、規制値の観測点は、道路の敷地の境界線であるため、観測点の違いを考慮すれば、規制値程度あるいは以内であると考えられる。

##### 5. まとめ

大島大橋を対象として、走行車両による橋梁の応答解析および、加振試験・車両走行試験を行った。実験結果との比較より、応答解析法を用いることにより実用的な振動レベルの予測が可能であることが確認できた。また、大島大橋においては、歩行者等へ影響を与えるような交通振動は発生していないことが確認できた。

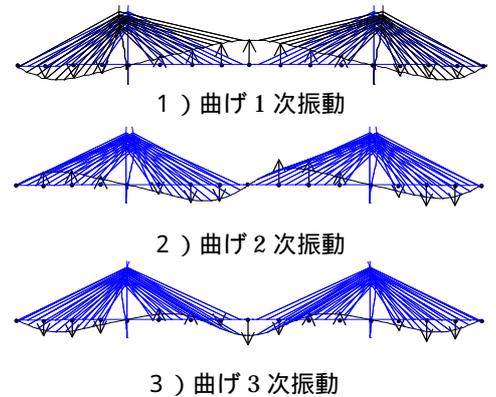


図 4 振動モード

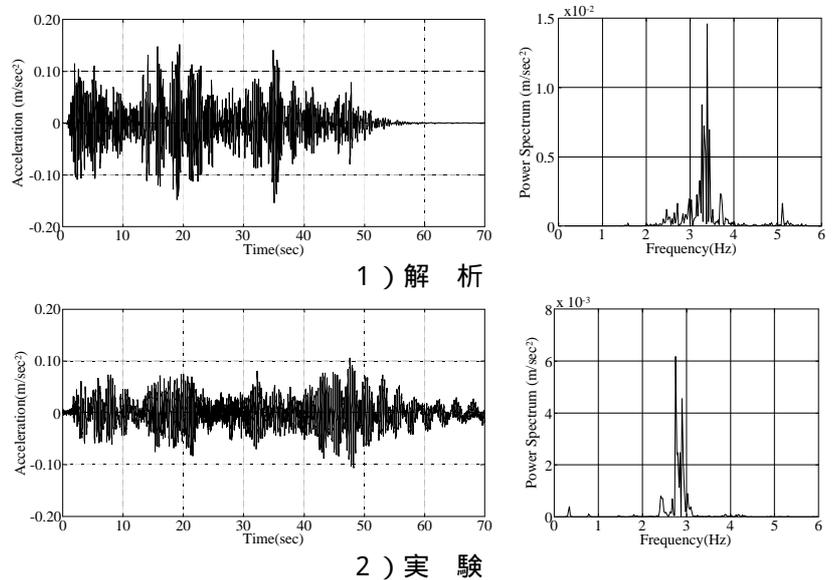


図 5 加速度応答とスペクトル ( $L/2$  点, 走行速度 50km/h)

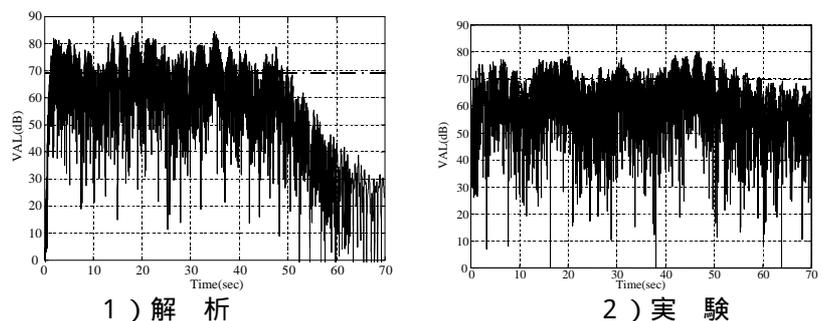


図 6 振動レベル ( $L/2$  点, 走行速度 50km/h)