

斜張橋の交通振動解析と走行車両実験による検討

長崎大学大学院 学生会員○串山智恵美 長崎大学工学部 フェロー 岡林 隆敏
三菱重工業(株) 正 会 員 原 忠彦 長崎大学工学部 学生会員 岡谷まり子

1. 研究の目的

橋梁の長大化に伴ない、振動を励起し易くなっている。その中で、走行車両による橋梁の交通振動が発生する場合があり、振動障害による橋梁の使用性を照査する必要がある。そこで、長崎県内の大島大橋を解析事例として、走行車両による応答解析を行った。本研究では、実橋における加振試験、走行車両試験を行い、実験値と解析値を比較することで、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) 橋梁-車両-路面系の方程式 路面凹凸 $r(t)$ を含む橋梁上を、1 自由度系でモデル化された車両が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。

$$y(x, t) = \sum_k \phi_k(x) q_k(t) \quad (1) \quad \ddot{q}_k(t) + 2h_k \omega_k \dot{q}_k(t) + \omega_k^2 q_k(t) = -\mu_k \phi_k(vt) \ddot{z}(t) \quad (2)$$

$$\ddot{z}(t) + 2h_0 \omega_0 \{\dot{z}(t) - \dot{y}(vt, t) - \dot{r}(t)\} + \omega_0^2 \{z(t) - y(vt, t) - r(t)\} = 0 \quad (3)$$

ここで、 $y(x, t)$: x 点の橋梁の変位応答、 $\phi_k(x)$: k 次の振動モード、 $q_k(t)$: 基準座標、 $z(t)$: 車両の垂直変位、 ω_k 、 ω_0 、 h_k 、 h_0 : 橋梁および車両の固有円振動数と減衰定数、 μ_k : 橋梁の k 次の有効質量 m_k と車両の質量 m_0 との質量比、 v : 車両の走行速度である。次のような状態変数を導入すると、

$$q(t) = [q_1(t) \cdots q_n(t)]^T \quad (4) \quad X(t) = [q(t)^T \dot{q}(t)^T z(t) \dot{z}(t)]^T \quad (5)$$

(2)、(3) 式は、次式の状態方程式で記述することができる。

$$\dot{X}(t) = A(t)X(t) + B(t)r(t) \quad (6)$$

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、 $r(t)$: 路面凹凸 $r(t)$ とその時間微分 $\dot{r}(t)$ から構成される外力ベクトルである。

2) 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、

$$S_r(\omega) = S_0 / (\omega^2 + \beta^2) \quad (7)$$

で近似することができる。ここで、 $S_0 = 2\pi v A$ 、 $\beta = 2\pi v a$ であり、 A : 路面の良否を表すパラメータ (= 0.001)、 a : 実測結果より決定するパラメータ (= 0.05) である。(7) 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。

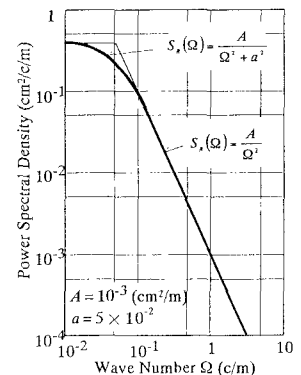


図-1 路面凹凸のスペクトル

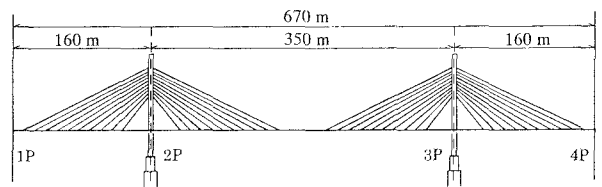


図-2 大島大橋一般図

表-1 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 (歩道 2.5m 路肩 0.5m 車道 6.0m 路肩 0.75m)
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

3. 実験概要

図-2に解析対象物である大島大橋の本橋の一般図、表-1に諸元を示した。対象橋梁において、振動特性と交通振動特性を確認するために、加振試験および走行車両試験を行った。加振試験では、正弦波加振装置を橋梁上に設置し、共振点を求めた。また、各振

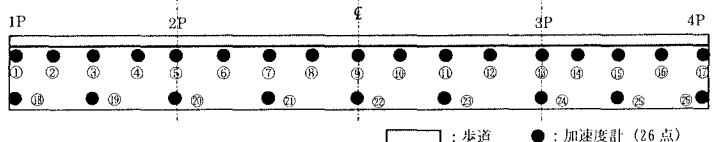


図-3 加速度計の設置位置 (平面図)

動次数における自由減衰波形を測定した。走行車両試験では、総重量約 10tf（空載時）のトラック 1 台を用いた。車両重量、走行速度および試験方向を変化させて試験を実施した。図-3 に示すように、橋梁上に 26 個の加速度計を設置し、桁の上下方向の加速度を測定した。

4. 解析結果と考察

1) 加振試験

加振装置を $L/2$ 、または $3L/8$ に設置し加振試験を行った。表-2、図-4 に解析および実験で得られた振動特性および対数減衰率を示した。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。また、実験より得られた各次振動数における対数減衰率より、高次振動になるほど減衰が増加する傾向があることが分かる。

表-2 振動特性と対数減衰率

振動次数	3 次	4 次	6 次	7 次	10 次	16 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	捩れ 1 次
振動数 (Hz)	解析値 0.3395	0.4644	0.763	0.873	1.023	1.426
	実測値 0.330	0.464	0.79	0.895	1.065	1.447
加振周波数 (Hz)	0.33	0.452	0.79	0.895	1.065	1.447
対数減衰率	0.0298	0.0390	0.0394	0.0557	0.0423	0.0692

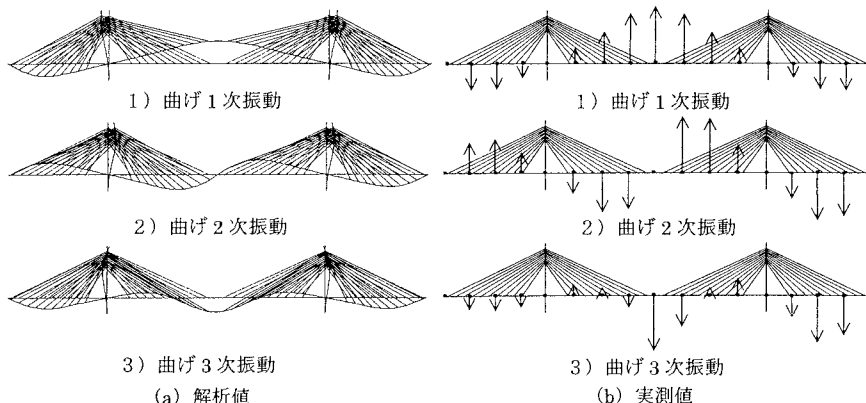


図-4 振動モード

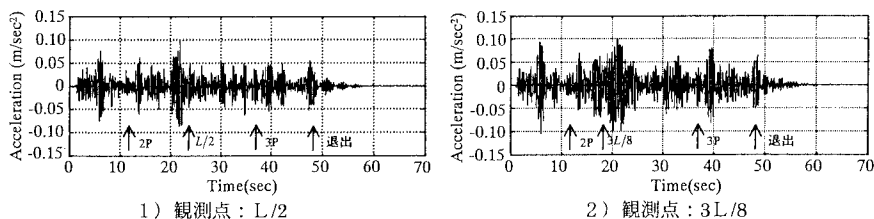


図-5 走行車両による加速度応答（解析値）

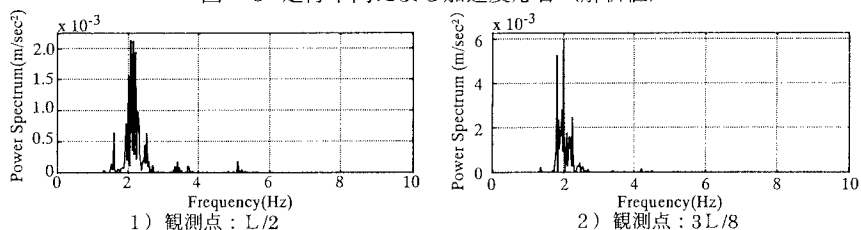


図-6 加速度応答のパワースペクトル（解析値）

2) 車走行両試験 解析および実験ともに、満載時（約 20tf）のトラックが 50km/h で走行した場合を考える。観測点が $L/2$ または $3L/8$ の場合における、桁の上下方向の加速度の解析値を図-5、そのパワースペクトルを図-6 に示す。加速度の最大値は、 $L/2$ 点で約 0.087 (m/sec²)、 $3L/8$ 点で約 0.105 (m/sec²) である。両者共に、観測点および主塔部を車両が通過した数秒後に、ピークを示している。卓越振動数は、 $L/2$ 点で 2.14 (Hz)、 $3L/8$ 点で 2.01 (Hz) となっている。また、実験時には、振動はそれほど体感できなかったため、歩行者に不快感を与えるような振動は発生していないと考えられる。

5. まとめ

振動特性に関しては、解析値と実測値が良い一致を示しており、固有値解析の妥当性が確認できた。交通振動特性に関しては、発表時に解析値と実測値を比較したいと考えている。また、交通振動が歩行者に与える影響についても考察する予定である。現在、より厳密な車両のモデル化について検討中である。

【参考文献】岡林隆敏，加賀敏明，甲斐利彦：MATLAB 言語による道路橋交通振動の解析，長崎大学工学部研究報告第 26 巻，第 46 号，1996.1