

金沢大学工学部 正会員 小堀為雄  
 福井工業大学 正会員 梶川康男  
 横河橋梁 小川克美

1 まえがき 橋梁は土木構造物の中でも振動しやすい構造物の1つである。その中でも、特にランガー橋は振動しやすい橋梁形式の1つであると言われている。それは、逆対称振動時にアーチが働かず、補剛桁のみの振動となるために、振動数が低く、たわみ振幅が大きくなるためであろう。突橋調査<sup>1)</sup>においても、他の形式橋にくらべて大きな振動をしているようである。そこで、本文では筆者らが従来より進めてきた“橋梁振動が歩行者に及ぼす心理的影響<sup>2)</sup>”という点から、ランガー橋の振動を考えた。まず、橋梁における振動感覚を考慮する場合には荷重の載荷状態として極値を考える必要はなく、日常頻繁に生ずるような状態を考えるべきであろう。そこで、20トン的大型車が1台走行した時の動的応答をモード解析によって求め、各種ランガー橋における歩行者の心理的影響を考えるとともに、揺れを少なくするためにどのように設計すべきかについて考えた。

2 ランガー橋の標準設計と固有振動 ランガー橋は内的一次不静定構造であるので、不静定力としてアーチに作用する応力の水平成分を選び、その支間中央点における影響線の値が  $0.192L/f$  で与えられるものとした。そこで、表-1に示したライズ比( $L/f$ )、支間長( $L$ )を変化させて影響線を求め、断面力を計算した。そして、アーチ部材は高さ幅を表のように仮定し、板厚をトラス断面の規定に従って決定した。補剛桁については5種の桁高を考慮、2つの載荷状態( $+M_1+H_1, -M_2+H_2$ )に対して上下フランジの引張応力が許容応力に達するようにフランジ断面積を決定した。断面決定された各ランガー橋のたわみと4次までの固有振動数と固有振動モードを吉村平井の提案した方法<sup>3)</sup>で求めた。

3 動的応答解析 道路橋の振動感覚を考慮する場合には、すでに文献<sup>2)</sup>で提案したように大型車1台(丁荷重相当)が走行した時の振動に対して制限を加えるのがよいと考えられる。そこで、図-1のようにランガー橋を2自由度に単純化された車両が速度  $v$  にて走行した時の動的応答を考慮する。大型車が橋面に与える外力を  $f(t)$  で表わし、定常確率過程であるとすれば、ランガー橋の振動は、各モードごとに

$$\ddot{z}_n + 2h_n \omega_n \dot{z}_n + \omega_n^2 z_n = f(t) X_n(vt) \quad (1)$$

が成り立つ。ここで、 $X_n(vt)$  は規準化された固有振動モードであり、一般に次式のように正弦級数で表わされる。

$$X_n(vt) = \sum_{m=1}^M A_{nm} \sin \frac{m\pi vt}{L} \quad (2)$$

式(1)において、 $f(t)$  を定常外力、 $X_n(vt)$  を非定常性を表わす確定関数であると考えれば、非定常外力を受けの一自由度系の線形応答問題<sup>4)</sup>に帰着される。初期値をゼロとして、 $z_n$  の自己

橋桁:一等橋(活荷重 L-20)
橋見:車道幅7m, 餘隙コンクリート厚版(16cm厚), アスファルト舗装(5cm厚)
ライズ比( $L/f$ ): 6, 7, 8
支間長( $L$ ): 60, 70, 80, 100, 120, 150 m
桁間数: 8, 10, 10, 12, 16, 20
アーチ部材高( $h_a$ ): 35, 40, 45, 55, 65, 80 cm
アーチ部材幅: $h_a + 6$ cm, 斜り $7^\circ$ ( $90 \times 8$ mm)を1.2倍配置
補剛桁高( $L/h_g$ ): 30, 35, 40, 45, 50
死荷重: $2.25 + L/70$ t/m
使用鋼種: SM50, その他は道路橋示方書に準拠

走行速度( $v$ ): 10 m/s, 路面凹凸波長 20cm ~ 20m
路面凹凸の1/2波長波数 $S(w) = 0.001 v (\frac{w}{2\pi})^2$ cm <sup>2</sup> /s
重量 20トン(ばね上部18トン, ばね下部2トン)
ばね定数 懸架部 6000 kg/cm, サイ部 12000 kg/cm
減衰係数 " 25 kg/cm/s, " 30 kg/cm/s
外力の1/2波長波数 有帯域 $3\pi \sim 7\pi$ 280000 kg <sup>2</sup> /s (有帯域初値1/2) " 20 $\pi \sim 40\pi$ 28000 kg <sup>2</sup> /s

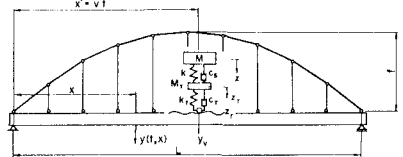


図-1 振動系模型

相関関数  $R_g(t_1, t_2)$  は、つぎのように表わされる。

$$R_g(t_1, t_2) = E[\dot{g}_n(t_1)\dot{g}_n(t_2)] = \frac{1}{\omega_n^2} \int_0^{t_1} \int_0^{t_2} e^{-h_n \omega_n (t_1 - \xi_1)} \sin \bar{\omega}_n (t_1 - \xi_1) \sum_{m=1}^M A_{nm} \sin \frac{m\pi v \xi_1}{L} \times e^{-h_n \omega_n (t_2 - \xi_2)} \sin \bar{\omega}_n (t_2 - \xi_2) \sum_{m=1}^M A_{nm} \sin \frac{m\pi v \xi_2}{L} E\{f(\xi_1)f(\xi_2)\} d\xi_2 d\xi_1 \quad (3)$$

ここで、 $\bar{\omega}_n = \omega_n \sqrt{1 - h_n^2}$  である。また、定常外力の期待値項  $E\{f(\xi_1)f(\xi_2)\}$  は定常外力のパワースペクトル密度  $S_f(\omega)$  を用いて次式のように表わされる。

$$E\{f(\xi_1)f(\xi_2)\} = R_f(\xi_1 - \xi_2) = \int_{-\infty}^{\infty} S_f(\omega) e^{i\omega(\xi_1 - \xi_2)} d\omega = 2 \int_0^{\infty} S_f(\omega) \cos \omega(\xi_1 - \xi_2) d\omega \quad (4)$$

したがって、式(4)を式(3)に代入すれば、 $\dot{g}_n$  の自己相関関数はつぎのようになる。

$$R_g(t_1, t_2) = \frac{2}{\omega_n^2} \int_0^{\infty} S_f(\omega) \int_0^{t_1} \int_0^{t_2} e^{-h_n \omega_n (t_1 - \xi_1)} \sin \bar{\omega}_n (t_1 - \xi_1) \sum_{m=1}^M A_{nm} \sin \frac{m\pi v \xi_1}{L} \times e^{-h_n \omega_n (t_2 - \xi_2)} \sin \bar{\omega}_n (t_2 - \xi_2) \sum_{m=1}^M A_{nm} \sin \frac{m\pi v \xi_2}{L} \cos \omega(\xi_1 - \xi_2) d\xi_2 d\xi_1 d\omega \quad (5)$$

本文では、表-2 に示したような路面凹凸のパワースペクトル密度  $S_f(\omega)$  を考え、この路面上を大型車が走行した時、橋面に与える外力のパワースペクトル密度を求めた。実際は、狭帯域スペクトルとなるが表-2 に示したような2つの有帯域ホワイトノイズを仮定した。また、振動感覚を生じさせる刺激(S)として応答速度の実効値を考えると<sup>2)</sup>、車が橋上にある間 ( $t=40$ ) の  $\dot{g}_n(t)$  の二乗平均を考える、着目点(支点より距離X)の振動刺激を次式で求めた。

$$S^2 = \sum_{n=1}^N \left\{ E\{\dot{g}_n^2(t)\} \sum_{m=1}^M A_{nm} \sin \frac{m\pi X}{L} \right\} \quad (6)$$

2で標準設計されたランガー桁橋の固有振動数( $\omega_n$ )と固有振動モード( $A_{nm}$ )に対し、橋梁の減衰定数( $h_n$ )を0.02として、着目点( $X=0.2L$ )の振動刺激値を図-2に示し、活荷重によるたわみ比( $L/\delta$ )との関係を図-3に示した。

**4 および** 本文は従来より振動が大きいと言われていたランガー桁橋の動的応答をモデル解析によって求めたものである。その結果をつぎのようにまとめることができる。(1) ライズ高や補剛桁高によって刺激を大幅に小さくすることはほとんどできな。 (2) 刺激が限度<sup>2)</sup>を越える橋は60~80mの支間長である。これは、橋梁重量と関係しているものと思われる。(3) 活荷重によるたわみと刺激との明確な関係は見い出せな。 (4) 逆対称振動による刺激のみが特に大きく影響するとは言えな。 (5) ランガー桁橋は対称・逆対称の振動数が接近しているために、わずかなパラメータの変更によって外力の振動数域からすべての固有振動をはずすことができず、振動が大きくなっているものと思われる。したがって、振動を小さくするには大幅な変更(構造系や路面粗さなど)が必要であろう。

—参考文献—

- 1) 小堀 規川, 道路橋(鋼橋)の振動測定法とその特性, 「道路」40号, 1974. 7
- 2) 小堀 規川, 橋梁振動の人間工学的評価法, 土木学会論文報告集第230号, 1974. 10
- 3) 吉村 平井, ランガー桁の動的解析, 土木学会論文集第10号, 1964. 1
- 4) 星谷 勝, 確率論手法による振動解析, 鹿島出版会, 1974. 8

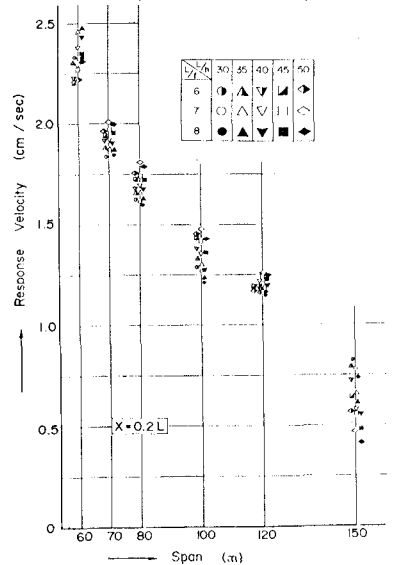


図-2 ランガー桁橋の応答速度

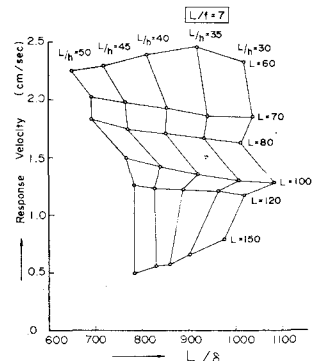


図-3 活荷重によるたわみ比と応答速度