

九州大学工学部 正会員 彦坂 熙
 有明工業高等専門学校 正会員 吉村 虎哉
 九州大学工学部 学生員 川内丸隆弘

1. 緒言

走行車両による道路橋の振動は、ある限度を越えれば歩行者に不快・不安感を与えるほか、下部工を通して地盤振動を引き起し、さらに低周波空気振動の発生源となる場合もある。既設の橋梁に防振対策工を施すことは不経済であるうえ美観上の観点があり、しかも十分な効果は期待できない。今後の橋梁においては防振設計の重要性が増し、将来採用が予想される限界状態設計法では、使用限界状態の1つとして振動がチェックされることであろう。橋梁の最適設計とは、安全性および使用性が満足される範囲内で最も経済的な断面選定を行うものであるが、逆に、一定コストのもとで安全性・使用性が最も高くなるように断面選定を行うアプローチの方法も考えられる。そのための基礎として、本研究では補剛アーチ橋を対象に、鋼重を制約した場合の、アーチ部材と補剛桁の断面選定が橋梁の動的応答に及ぼす効果について考察する。

2. 定常ランダム過程による橋梁振動の評価

図-1のようなスパン l 、ライズ f の下路式補剛アーチ橋の n 次固有振動数を $f_n (= \omega_n/2\pi)$ 、 ω_n は固有円振動数、減衰定数を ρ_n 、固有振動モードを $\varphi_n(x)$ とする。いま、不規則凹凸 $\Delta(x)$ をもつ橋面上を重量 P_0 、固有振動数 $f_0 (= \omega_0/2\pi)$ 、減衰定数 ρ_0 の1自由度系 sprung mass にモデル化された車両が速度 v で走行する場合の時刻 t における橋梁の動たわみが、 n 次の基準関数 $g_n(t)$ を用いて

$$y(x, t) = \sum_n g_n(t) \varphi_n(x) \quad (1)$$

と表わされるものとすれば、 $g_n(t)$ と車両ばね上質量の鉛直変位 $z(t)$ に関する次の方程式を得る。

$$\left. \begin{aligned} \ddot{g}_n + 2\rho_n \omega_n \dot{g}_n + \omega_n^2 g_n &= P_0 \varphi_n(vt) (1 - \ddot{z}/g) / M_n \quad (n=1, 2, \dots) \\ \ddot{z} + 2\rho_0 \omega_0 \dot{z} + \omega_0^2 z &= \sum_n \ddot{g}_n \varphi_n(vt) - \Delta(vt) + \omega_0^2 \{ z - \sum_n g_n \varphi_n(vt) - \Delta(vt) \} = 0 \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

ここに、 M_n は橋梁の n 次の換算質量、 g は重力の加速度。

路面凹凸 $\Delta(x)$ を定常ランダム過程とすれば、上式で表わされる橋梁-車両系の振動は非定常ランダム過程となり、その解法は既知^(1,2)であるが、本論の防振設計のためには、橋梁応答(たわみ、速度、加速度等)の最大値のみがわかればよい。既往の研究^(2,3)により、式(2)から求められる非定常ランダム応答の Root Mean Square の最大値は、車両載荷位置 $vt=x$ を固定して式(2)の $\varphi_n(vt)$ を定数 $\varphi_n(x)$ と置いた場合の、橋梁の定常ランダム応答解にほぼ一致することが知られている。したがって、本論では $x=l/4$ および $l/2$ と置いて得られる定常ランダム応答解により、橋梁振動を評価する。

3. 断面選定のパラメーターと制約条件

アーチ部材および補剛桁の平均断面積・平均断面2次モーメントをそれぞれ A_a, I_a および A_g, I_g とする。補剛桁はI形断面をもち、その腹板高さを h 、腹板厚を t_w 、上下フランジの平均断面積を A_f とする。橋梁の構造特性

を表わすため、次の4つのパラメーターを導入する。

$$\text{ライズ比 } t/l, \quad \text{腹板高比 } h/l, \quad m = I_a/I_g, \quad n = A_a/A_g$$

下路式補剛アーチ橋のライズ比と腹板高比は、通常 $t/l = 1/6 \sim 1/7$, $h/l = 1/40 \sim 1/50$ に選定される。パラメーター m , n は既設の橋梁間でも変動が大きく、アーチの曲げモーメントが無視されるランガー桁橋は、概ね $m = 1/50 \sim 1/10$, $n = 0.6 \sim 1.1$ の範囲にあるが、アーチ・補剛桁とともに曲げモーメントと軸力を負担させる場合には、 m , n をランガー桁橋よりも任意に選ぶことができる。近年、補剛アーチ橋の構造解析はアーチ部材の曲げ剛性を考慮した変形法により行なわれている。

断面選定における制約条件として次式を与える。

$$A = A_g + \left\{ 1 + \frac{8}{3} \left(\frac{t}{l} \right)^2 \right\} A_a = \text{一定} \quad (3)$$

上式の A は、アーチ軸線を2次放物線とする場合の、水平単位長さ当たりのアーチと補剛桁の鋼体積を表わす。

橋梁の鉛直固有振動数、振動モードは、アーチの I_a を補剛桁に移し、結合法を用いて解析した。この場合の補剛桁の断面2次モーメントは、既出のパラメーターを用いて近似的に次式で表わされる。

$$I \approx (1+m) \left\{ 2A_g \left(\frac{h}{l} \right)^2 + \frac{t_w h^3}{12} \right\} = (1+m) h^2 \left[\frac{A}{4 \left\{ 1 + \frac{8}{3} \left(\frac{t}{l} \right)^2 n \right\}} - \frac{t_w h}{6} \right] \quad (4)$$

4. 計算例

表 - 1

本稿では、表-1の条件が与えられたA, B 2橋について、橋梁振動を動的増したわみ(動たわみ-静たわみ)のRMS値 σ_y で評価する場合のケーススタディの一部のみを示し、詳細は講演当日発表する。設計パラメーター $n = A_a/A_g$ による橋梁の低次の固有振動数 f_1, f_2 , f_3 の変化は図-2の通りであり、 f_2 (反対称1次) が常に最小となること、および f_1 (対称1次) は $n = 0.8$ 近傍で最大となるがその変動は小さいことがわかる。橋梁の減衰定数は $\delta_n = 0.01$, 走行車両は $P = 20t$, $v = 50 \text{ km/h}$, $f_0 = 1 \sim 3 \text{ Hz}$, $\delta_n = 0.03$, 路面凹凸 $\Delta(x)$ のパワースペクトル密度関数の平滑度パラメーターは、 $\alpha = 0.001 \text{ cm}^2/\text{m}$ として応答解析を行った。図-3は、 f_0 をパラメーターとして $\sigma_y(l/4)$, $\sigma_y(l/2)$ と n 値との関係をプロットしたもので、橋梁振動に及ぼす f_0 の効果が著しいことがわかる。

	A 橋	B 橋
支間長 l	67.0 m	57.2 m
ライズ比 t/l	$1/6.7$	$1/6.4$
腹板高比 h/l	$1/36$	$1/39$
腹板厚 t_w	10 mm	10 mm
死荷重 (1主橋)	3.65 m	3.25 m
制約条件 A	642 cm ²	631 cm ²

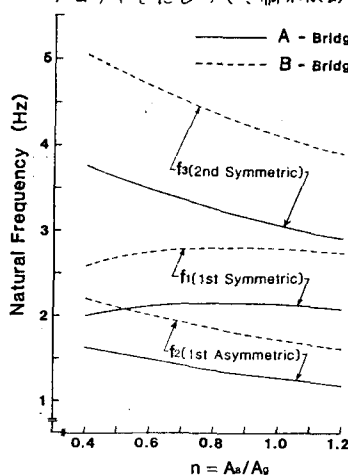


図 - 2

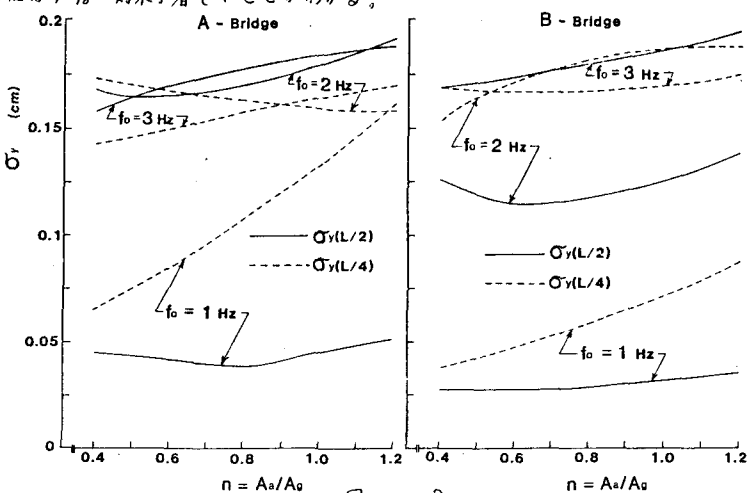


図 - 3

[参考文献] 1) 吉村彦坂内谷: 土木学会論文報告集, No. 258, No. 290, 2) 岡村他: 土木学会論文報告集, No. 286, No. 296, 3) 彦坂吉村内谷大場: 九大工学集報, Vol. 52, No. 4, 4) 吉村・平井: 土木学会論文集, No. 101, No. 115