

I-19 補剛アーチ橋の固有値への2次的要素の効果および走行荷重応答倍率

九州大学工学部 正会員 吉村 虎蔵
 " " 学生員 〇長尾 孝俊
 " " " 江藤 徹郎

まえがき

1では、表-1に示すように、補剛アーチ橋の固有値解析で、逆対称振動は、対称振動に比べ理論値と実験値の差は大きい。これは逆対称振動が対称振動に比べ、縦桁および床版などの影響が大きいからと思われる。そこで、固有値解析に対する縦桁と床版および横構、アーチなどの剛性の影響効果について検討した。2では、いろいろなランガー橋の振動モードをみてみると、よく似ており、各次の固有振動比も、ほぼ一定であることから、ランガー橋の第一、二次固有周期と荷重が橋を通過するのに要する時間との比をパラメータにおき走行荷重応答倍率について検討した。

	対称振動一次			逆対称振動一次		
	理論値 ($\Delta\sigma_c$)	実験値 ($\Delta\sigma_c$)	比(%)	理論値 ($\Delta\sigma_c$)	実験値 ($\Delta\sigma_c$)	比(%)
戸崎橋	0.852	0.786	92.2	1.519	1.37	90.2
子飼橋	0.356	0.344	96.6	0.500	0.432	86.4
銀座橋	0.365	0.347	95.7	0.524	0.445	85.0
天草2号橋	1.05	0.825	79.0	1.37	1.16	84.6

表-1

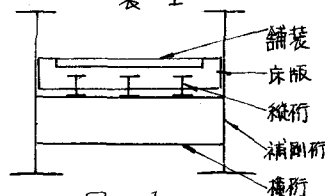
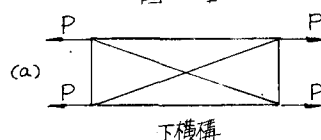
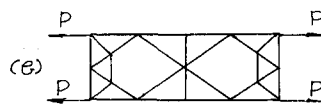


図-1



下橋構



上橋構

図-2

1. 補剛アーチ橋の固有値への2次的要素の効果

図-1に示すような断面で、縦桁と床版を合成桁と考え完全に補剛桁と合成させた場合、および単に縦桁および床版からなる合成桁の断面二次モーメントを補剛桁の断面二次モーメントに加算した場合、さらにその値に舗装、アーチなどの影響を考慮した場合などを考えた。横構については、上橋構および下橋構を図-2のような構造によさげえ、その影響を補剛桁の断面積、およびアーチの断面積に換算して計算をおこなった。その結果を表-2に示す。

計算結果

縦桁と床版を補剛桁に完全に合成させた場合、逆対称振動固有周期の実験値との百分率が100%を超えて危険側となった。単に断面二次モーメントの和をとれば、対称振動、逆対称振動、両者の実験値との百分率は、ほぼ等しくなった。下橋構の影響については、補剛桁の断面積に対して、戸崎橋で3%、子飼橋で1%、銀座橋で1%で、固有周期には、ほとんど影響しない。図-2(b)に示す上橋構の斜材には応力は発生せず、アーチ断面への影響はない。2次的要素の効果は、スパンの短い橋、子飼橋(59.2m)、銀座橋(62.0m)によくきくようである。(戸崎橋は139.2m)子飼橋において舗装まで考慮すると100%を超え危険となる。2次的要素の効果としては、縦桁と床版の剛性の影響を考えて、固有値解析をおこなえばよいと思われる。

	補剛桁と完全合成		I_g + 合成桁 + 横構		I_g + 合成桁 + 横構 + 舗装		I_g + 合成桁 + 横構 + I_a		I_g + 合成桁 + 横構 + 舗装 + I_a	
	対称一次(ω)	逆対称一次(ω)	対称一次(ω)	逆対称一次(ω)	対称一次(ω)	逆対称一次(ω)	対称一次(ω)	逆対称一次(ω)	対称一次(ω)	逆対称一次(ω)
戸崎橋	0.842(93.3)	1.479(92.8)	0.841(93.5)	1.476(92.8)	0.838(93.8)	1.467(93.8)	0.832(93.8)	1.461(93.8)	0.835(94.1)	1.447(96.8)
子飼橋	0.351(98.0)	0.414(104.3)	0.353(97.5)	0.444(97.3)	0.351(98.0)	0.422(102.4)	0.353(97.5)	0.441(98.0)	0.351(98.0)	0.420(102.4)
銀座橋	0.357(97.2)	0.400(111.3)	0.365(95.1)	0.483(95.1)	0.363(95.6)	0.471(94.5)	0.364(95.3)	0.476(93.5)	0.363(95.6)	0.465(95.7)
天草2号橋			1.03(80.1)	1.348(86.1)						

表-2 < >は実験値との百分率 (天草2号橋はラベートラ橋, 他はランガー橋)

2. 走行荷重応答

運動方程式

図-3に示すように $x=x_0$ なる位置に初速度 v_0 の一定速度で P_0 が移動する時の動的レスポンスは式(1)のように表わされる。

$$\ddot{w}_m + \omega_m^2 w_m = \bar{w}_m(x=x_0) \cdot \bar{w}_m(x=vt) \cdot P_0 \quad (1)$$

ただし ω_m : m 次の固有振動数, $\bar{w}_m(x)$: m 次の正規化振動モード, $\bar{w}_m(x) = C_m \cdot \varphi_m(x)$, $\bar{w}_m$: m 次のモードに対する動的たわみ, $\bar{w}$: 動的たわみ $\sum_{m=1}^{\infty} \bar{w}_m$, $\bar{w}_m$: m 次のモードに対する静的たわみ, $\bar{w}_0$: 静的たわみ $\sum_{m=1}^{\infty} \bar{w}_m$

ここで $\bar{w}_m = \bar{w}_0 \cdot \bar{w}_m$ とおき, $\bar{w}_m$ を $\bar{w}_0$ で無次元化し, さらに $\omega_m = \omega \cdot \bar{\omega}_m$ とおくとつぎの方程式が得られる。

$$\ddot{\bar{w}}_m + \bar{\omega}_m^2 \bar{w}_m = \bar{w}_m(x=x_0) \cdot \bar{w}_m(x=vt) \cdot P_0 \cdot \bar{\omega}_m / \bar{w}_0(x=x_0) \cdot P_0 \\ = \bar{\omega}_m^2 \cdot \bar{w}_m(x=vt) / \bar{w}_m(x=x_0) \quad (2)$$

(2)式へ $\bar{w}_m(x=vt)$ の n 次成分 $b_{mn} \sin(n\pi vt/l) = b_{mn} \sin n\omega t$ ($\pi v/l = \omega$ とおく)とすれば, (2)式はつぎようになる。

$$\ddot{\bar{w}}_m + \bar{\omega}_m^2 \bar{w}_m = \bar{\omega}_m^2 \sum_{n=1}^{\infty} b_{mn} \sin n\omega t / \bar{w}_m(x=x_0) \quad (2')$$

よって m 次の動的倍率が(3)式で得られる。

$$\bar{w}_m = \sum_{n=1}^{\infty} \frac{b_{mn} \{ \sin n\omega t - (n\omega / \bar{\omega}_m) \sin \bar{\omega}_m t \}}{1 - (n\omega / \bar{\omega}_m)^2} \bar{w}_m(x=x_0) \quad (3)$$

従って固有振動数の比が一定, x_0 点の振動モードの比が一定である時には, 動的倍率は(3)式で求める。

計算例

2/4点のレスポンスについて第一、二固有振動数との比を表-3の予餉橋をとり, 振動モードも予餉橋のモードをとって, 1次, 2次, 3次, および $\bar{\omega}$ に対する, それぞれの動的応答倍率の計算結果を図-4(a), (b), (c), (d)に示す。(戸崎橋は, 特殊な橋と認められる。)図-4より2/4点のレスポンスでは並列一次が顕著にあらわれていることがわかる。 $\bar{\omega}/\omega$ の最大値は, 1°ラナータ, 0.03, 0.06, 0.09に対して, それぞれ1.06倍, 1.13倍, 1.20倍となった。

	$\bar{\omega}_1$	$\bar{\omega}_2$	$\bar{\omega}_3$	$\bar{\omega}_4$	$\bar{\omega}_5$
戸崎橋	1	1.40	3.51	0.56	2.74
予餉橋	1	1.66	4.45	0.71	2.84
銀座橋	1	1.64	4.40	0.71	2.84
天草2号橋	1	1.76	4.43	0.76	2.60

表-3

参考文献

- 1) 吉村, 平井: ランガー橋の動的解析, 土木学会論文集101号, S.39.1
- 2) 吉村他: 道路ランガー橋の載荷試験, 土木学会誌45-5, S.35.5
- 3) 日本道路公団福岡支社: 工事報告 天草五橋 S.42.5

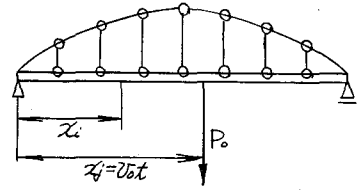


図-3

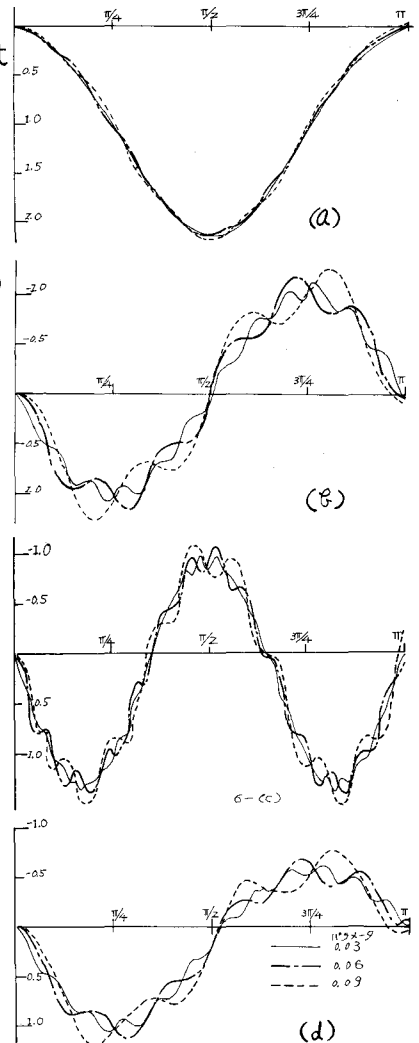


図-4