

I-432

吊床版歩道橋の固有振動数特性について

八代高専 正員 水田洋司 熊本大学 正員 平井一男
鹿島建設 正員 元田和章

1. まえがき

吊床版橋は1958年に西ドイツの U.Finsterwalder 博士によって提案された吊構造の橋梁で、日本では歩道橋として架設されている。このタイプの橋は経済性の面から、今後増加すると考えられるが、スレンダーな構造形式のため揺れ易く、振動特性、振動感覚を考慮した使用性について明確にする必要がある。本研究では吊床版橋の解析方法を提案し、梅の木森公園吊橋を例にとり、提案法の妥当性を実験値と比較した。また、無次元解析を利用して吊床版歩道橋の固有振動数の特性について検討した。

2. 解析方法

ローゼ橋は図-1に示すように、アーチ材の曲げ剛性 $E I_a$ (E : 弾性係数、 I_a : アーチ部材の断面二次モーメント) を補剛桁の曲げ剛性 $E I_g$ (I_g : 補剛桁の断面二次モーメント) に加えて、補剛桁が見かけ上 $E(I_a + I_g)$ なる曲げ剛性を持ったランガー橋として解析することが出来る⁽¹⁾。この考えを利用して、吊床版橋をローゼ橋と同様に、アーチ橋として解く方法について述べる。吊床版橋は図-2に示すように、アーチ部の曲げ剛性が $E I$ 、補剛桁の曲げ剛性が零の逆ローゼ橋と見なせる。吊床版橋のスパン長 L は変化しないから、置換したローゼ橋の桁部の断面積 $A_g = \infty$ と考えることが出来る。したがって、吊床版橋は図-3に示すようなランガー橋に置換して考えることが可能である。図-3のランガー橋、即ち、図-2の吊床版橋の振動数方程式は

$$1 + \frac{512\beta}{\pi^2} \sum \frac{1}{n^2 \{n^4(1 + \xi/n^2) - \lambda\}} = 0 \quad (1)$$

ここに、 $n=1, 3, 5, \dots$ f : アーチのライズ長さ

A : 床版断面積 ρ : 単位長さ当りの質量

I : 床版断面二次モーメント

$$\lambda = \lambda / \lambda' \quad (2)$$

$$\lambda = \omega^2 \quad \lambda' = \omega_{gn}^2 \quad (3)$$

$$\omega_{gn} = \omega_{gn} \sqrt{(1 + \xi/n^2)} \quad (4)$$

$$\xi = H L^2 / (E I \pi^2) \quad (5)$$

H : 水平張力 E : 弾性係数

$$\omega_{gn} = \left(\frac{n\pi}{L} \right)^2 \sqrt{\frac{E I}{\rho}} \quad (6)$$

ω_{gn} : 補剛桁の n 次の固有振動数 (rad/sec)

$$\beta = f^2 B / I \quad (7)$$

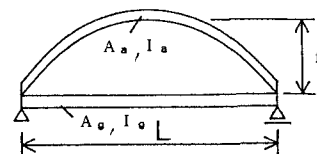
$$B = \frac{A}{1 + 8(f/L)^2 + 19.2(f/L)^4} \quad (8)$$

吊床版橋の場合には、 H とサグ比 (f/L) の間には次の関係式

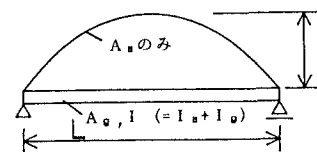
$$H \times \frac{f}{L} = \frac{\rho g L}{8} \quad (9)$$

が成立するから、(4)式は

$$\xi = \frac{L^2 (\rho g L) / 8}{E I \pi^2 (f/L)} \quad (10)$$



(a) ローゼ橋



(b) ランガー橋

図-1 アーチ橋

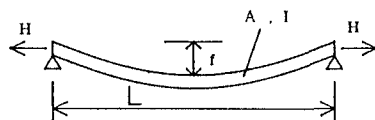


図-2 吊床版橋

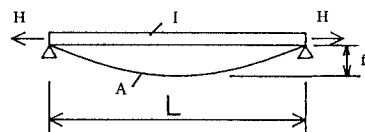


図-3 置換したランガー橋

となる。ここに、 g ：重力加速度である。以上の式より、固有振動数 ω を計算することが出来る。得られる固有振動数は対称振動(奇数次)のみで、逆対称振動数(偶数次)は式(3)から、求められる。式(1)で算定された固有振動数に対応する対称振動の固有モード $\phi_n(x)$ は

$$\phi_n(x) = \sum \frac{1}{n \{n_4(1 + \xi/n_2) - \lambda\}} \sin\left(\frac{n\pi x}{L}\right) \quad n=1,3,5,\dots \quad (10)$$

より、計算される。また、逆対称振動の固有モードは

$$\phi_n(x) = \sqrt{\frac{2}{\rho L}} \sin\left(\frac{n\pi x}{L}\right) \quad n=2,4,6,\dots \quad (11)$$

3. 数値計算

数値計算には表-1に示す梅の木轟公園吊橋の諸元を用いた。計算に使用した弾性係数、床版断面積はコンクリート、PC鋼材および鉄筋の比率を考慮して換算した値である。表-2には固有振動数(Hz)を記している。比較のために、3次元の離散モデルによる解析を行い、その値も示している。また、表中の実験値は常時微動測定で得られた値である。図-4はサグ比と固有振動数の関係を示す図である。縦軸はサグ比、横軸は1次の梁の固有振動数に対する比を表わす。図中の横軸方向の実線と各次数の交点は、梅の木轟公園吊橋の振動数である。

表-1 梅の木轟公園吊橋の諸元

L (cm)	10500.0
f (cm)	310.0
H (kg)	445300.0
E (kg/cm ²)	400000.0
I (cm ⁴)	120000.0
A (cm ²)	3843.5
ρ (kg·sec ² /cm ²)	0.010832

表-2 固有振動数の比較(Hz)

		①	②	③	④
対称	1次	0.876	0.940	0.932	0.95
	3次	1.332	1.335	1.288	1.43
	5次	1.740	1.909	1.884	1.94
逆対称	2次	0.622	0.683	0.687	0.70
	4次	1.312	1.445	1.441	1.47
	6次	2.126	2.349	2.313	2.25

①：提案法、ヒンジ ②：提案法、固定
* ③：離散(34分割)、固定 ④実験値

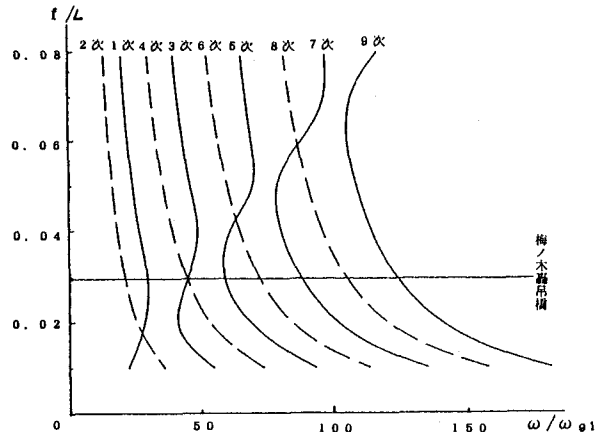


図-4 サグ比による固有振動数の変化(両端ヒンジ)

4. 結論

表-2から、提案する解析法と実験値、3次元解析値がよく一致することが判る。梅の木轟公園吊橋のような細長い橋の場合には、面内、面外、ねじりの連成がなく、面内、面外、ねじりに分けて解析しても十分な精度で計算可能である。このことは3次元解析で得られるモードからも推察出来る。図-4から、サグ比の変化(サグ比と張力は反比例)は固有振動数に大きな影響を及ぼし、1次と2次、3次と4次の固有振動数の大小関係が逆転するサグ比の存在することが判る。架設された吊床版歩道橋のサグ比は 0.025~0.030 の橋が多く、この範囲のサグ比では最低次の振動モードが2次(逆対称)になっていることは興味深い。特に、固有振動数の大小関係が逆転するサグ比付近の振動性状は大きく異なると考えられる。したがって、この付近での応答がどのような特性を示すかは今後の研究課題となろう。また、提案した解析手法を用いれば、文献(2)の方法によって振動感覚を考慮した使用性の検討にも役立つと考えられる。梅の木轟公園吊橋の実験で

参考文献

は住友建設(株)熊本営業所所長樋渡氏にお世話になった。記して謝意を表する。

- (1)吉村・平井：補剛アーチ橋およびつり橋の動的共通解析、土木学会論文集、代115号、pp11~11、1965。
- (2)小堀・梶川：橋梁振動の人間工学的評価法、土木学会論文集、代230号、pp23~31、1974。