

I-51

三次元静的フレーム法を用いる 橋梁の固有周期の算定

中央コンサルタンツ㈱ 正会員 松井義孝
中央コンサルタンツ㈱ 正会員 下川俊克
北海道大学 正会員 林川俊郎
専修大学道短大 正会員 金子孝吉

1. まえがき

近年、都市間交通の機能性を高めるべく橋梁建設は重要な担い手となってきた。特に環境や修景などの配慮が要求され橋梁も自ずからアーチ系、斜張橋等の選定も増えつつある。耐震設計手法も最近では静的フレーム法が主流となってきた。筆者らは、連続高架橋、曲線橋等を用いてその手法の適用性を研究してきている。ここにアーチ系の適用について3次元立体モデルを用いて述べるものである。

本研究に用いるモデルは、図-1に示す通りアーチ系橋梁を選定し下記の2ケースに限定する。但し、骨組構造条件は同一条件とする。

Case-1 ランガー橋

Case-2 ローゼ橋

これらのケースは、静的フレーム法の基本固有周期の結果を基に固有振動解析（整合質量法）結果と照らし合わせて前者の妥当性を検証する。

2. 静的フレーム法

静的フレーム法は、ある一自由度の振動系のひずみエネルギーと運動エネルギーとの最大値が相等という、いわゆるRayleigh法を骨子とした固有周期の近似値を求める計算手法である。Rayleigh法は基本固有振動数を求める場合に有用であると言われている。振動モードの形を表すたわみ関数の選定には境界条件を満たすという条件以外特に基準はなく、良い近似値を得るためには構造物の固有振動モードによく対応した変位曲線をあたえることが重要となる。特に、アーチ系形式についてはそれらの振動モードを念頭において静的な変位計算を基に固有周期を算出する必要がある。ここに基本固有周期として3次元モデル解析による橋軸方向、橋軸直角方向及び鉛直方向の一次固有振動モードに着目する。これらは、いかに各成分の一次モードを適切に判断するかが重要であるかを計算結果を基に考察する。

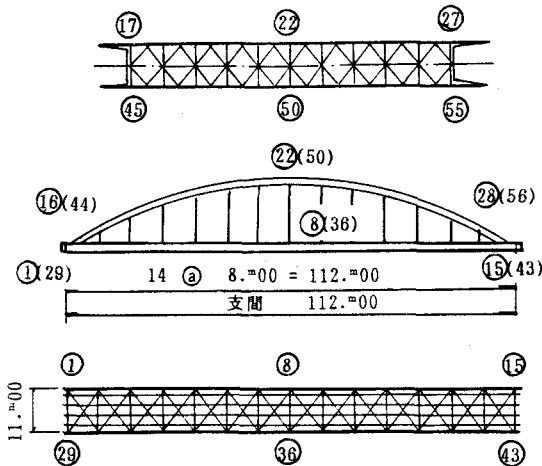


図-1 モデル図

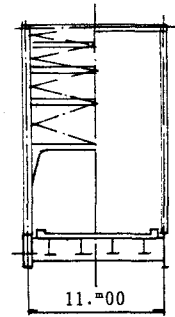
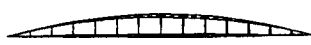


表-1 拘束条件 0→フリー 1→拘束

節点	X	Y	Z	θ_x	θ_y	θ_z
1	1	1	1	1	0	0
15	0	1	1	1	0	0
29	1	1	1	1	0	0
43	0	1	1	1	0	0

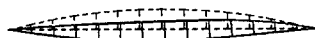
KLC=1 TT=1.26069
橋軸直角方向基本固有周期

WO=4.98392



KLC=2 TT=0.30539
橋軸方向基本固有周期

WO=20.57397



KLC=3 TT=1.49242
鉛直方向基本固有周期

WO=4.21007

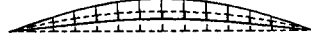
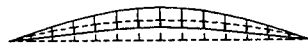
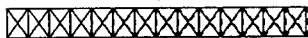


図-2 静的フレーム法モード図 (ランガー橋)

MODE=1 TT=1.47721 WO= 4.25340 EM= 87.26813
鉛直方向基本固有周期



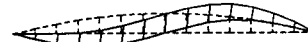
MODE=2 TT=1.35026 WO= 4.65331 EM= 49.69724
橋軸直角方向基本固有周期



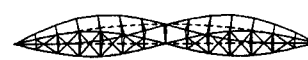
MODE=3 TT=1.20393 WO= 5.21887 EM= 68.85587



MODE=4 TT=1.04355 WO= 6.02098 EM= 0.16831



MODE=5 TT=0.93123 WO= 6.74718 EM= 0.02515



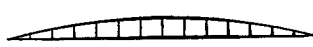
MODE=13 TT=0.25155 WO= 24.97795 EM= 153.08934
橋軸方向基本固有周期



図-3 整合質量法モード図 (ランガー橋)

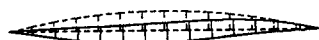
KLC=1 TT=1.19734
橋軸直角方向基本固有周期

WO=5.24761



KLC=2 TT=0.28545
橋軸方向基本固有周期

WO=22.01170



KLC=3 TT=1.29789
鉛直方向基本固有周期

WO=4.84108

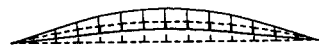
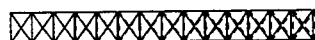
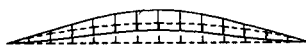


図-4 静的フレーム法モード図 (ローゼ 橋)

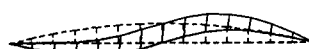
MODE=1 TT=1.33075 WO= 4.72153 EM= 70.59196
鉛直方向基本固有周期



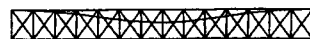
MODE=2 TT=1.20873 WO= 5.19817 EM= 106.45419
橋軸直角方向基本固有周期



MODE=3 TT=1.10736 WO= 5.67400 EM= 0.45569



MODE=4 TT=1.00128 WO= 6.27515 EM= 3.49456



MODE=5 TT=0.72668 WO= 8.64644 EM= 0.00231



MODE=18 TT=0.21903 WO= 28.68680 EM= 150.93947
橋軸方向基本固有周期



図-5 整合質量法モード図 (ローゼ 橋)

表-2 断面諸元 (ランガー橋)

	A(cm ²)	Ix(cm ⁴)	Iy(cm ⁴)	Iz(cm ⁴)
上弦材	493	324 613	233 364	252 010
下弦材	611	939	84 777	7 604 390
吊り材	170	166	12 446	81 264
支 材	83	22	1 200	36 517
横 桁	265	185	10 366	1 104 030
下横橋	38	15	710	716
橋門橋	430	469 256	198 900	629 600

3. 解析モデル

本研究の数値計算には、図-1に示すように支間112.0mを用い、拘束条件を附する。断面諸元を表-2、3と仮定し数値計算を行う。

4. 数値計算結果

ランガー橋

整合質量法における各成分の代表的モードは、鉛直方向では第1次、4次、7次、10次、橋軸直角方向では第2次、3次、6次、9次、橋軸方向では第13次、捻り振動では第5次、8次、11次等に現れている。第2次モードにおいては、平面的モードに上弦材と下弦材の方向が異なっている。これらは、鉛直振動と捻り振動が連成する事によって水平振動が発現していると思われる。静的フレーム法における基本固有周期について整合質量法のモードと照らし合わせるならば鉛直方向基本固有周期 (1.4924sec) は第1次モード (1.4772sec) に、橋軸直角方向基本固有周期 (1.2607sec) は第2次 (1.3503sec) に、橋軸方向基本固有周期 (0.3054sec) は、高次の第13次モード (0.2516sec) に現れている。

ローゼ橋

整合質量法における各成分の代表的モードは、鉛直方向では第1次、3次、6次、10次、橋軸直角方向では第2次、7次、9次、橋軸方向では第18次、捻り振動では第5次、8次、12次等に現れている。第4次モードにおいては、平面的モードに上弦材と下弦材の方向が異なっている。これらは、鉛直振動と捻り振動が連成する事によって水平振動が発現していると思われる。静的フレーム法における基本固有周期について整合質量法のモードと照らし合わせるならば鉛直方向基本固有周期 (1.2979sec) は第1次モード (1.3308sec) に、橋軸直角方向基本固有周期 (1.1973sec) は第2次モード (1.2087sec) に、橋軸方向基本固有周期 (1.2087sec) は、高次の第18次モード (0.2190sec) に現れている。

5. あとがき

本研究では、3次元静的フレーム法を用いてアーチ系橋梁の固有周期を算出しその適用性を検討してきた。以下その結論をまとめる。

表-3 断面諸元 (ローゼ橋)

	A(cm ²)	Ix(cm ⁴)	Iy(cm ⁴)	Iz(cm ⁴)
上弦材	736	1 700 992	838 900	2 081 900
下弦材	636	1 483 480	685 000	2 297 300
吊り材	120	35 389	17 800	17 800
支 材	102	31	8	60 850
横 桁	240	170	8 559	779 700
下横橋	38	15	710	716
橋門橋	430	469 256	198 900	629 600

表-4 解析結果

(sec)

モード	ランガー橋		ローゼ橋	
	整合質量法	静的フレーム法	整合質量法	静的フレーム法
1	鉛直 1.4772	鉛直 1.4924	鉛直 1.3308	鉛直 1.2979
2	橋軸直角 1.3503	橋軸直角 1.2607	橋軸直角 1.2087	橋軸直角 1.1973
3	橋軸直角 1.2039			
4	1.0436		1.1074	
5	0.9312		1.0013	
6	0.5707		0.7267	
7	0.5239		0.6098	
8	0.5062		0.5439	
9	0.3705		0.4598	
10	0.3077		0.4119	
11	橋軸 0.3077		0.3797	
13	0.2516	橋軸 0.3054	0.3032	橋軸 0.2855
18	0.1985		0.2190	

- 1) 静的フレーム法は設計振動単位を用いており第1次モードを取り扱うという定義付けは系全体の第1次モードではなく各成分方向の1次モード、つまり基本固有周期を用いる事であり表-4に基本固有周期とモードの関係を表し、その適用法を確認した。
- 2) 設計振動単位で基本固有周期を決定する場合それらにより近似した変位曲線を与える事が重要であり、各成分のモードをよく把握しておく事が大切である。特にアーチ系では橋軸方向に留意する必要がある。

以上、アーチ橋における静的フレーム法の適用について述べてきた。本例では、スパン/ライズ比を若干過少気味にモデル化したので別の機会に標準モデルを用い報告したい。

参考文献

- 1) 鬼頭、松井、下川、渡辺：静的フレーム法の適用とその考察 (道支部論文報告集第46号)
- 2) 下川、松井、菅、林川、渡辺：静的フレーム法による立体曲線橋の動的応答 (道支部論文報告集第46号)
- 3) 菅、下川、松井、林川：斜橋の固有周期特性と設計地震力 (道支部論文報告集第47号)
- 4) 松井、林川、金子：積留時における高架橋の固有周期特性 (道支部論文報告集第48号)
- 5) 林川、角田、松井：3次元連続高架橋の基本固有周期の算定について (構造工学論文集 Vol.38A)
- 6) Y.Matsui et al.: Calculation of natural periods of Bridge structures by using static frame Method (10WCEE PP. 4833~4838)