

若戸大橋の固有振動解析

長崎大学工学部 学生員 ○ 岩永政昭

長崎大学工学部 正 員 高橋和雄

福 州 大 学 彭 大 文

長崎大学工学部 正 員 小西保則

1. まえがき 日本最初の長大吊橋として若戸大橋は、昭和37年9月北九州市戸畑区と若松区を結ぶ洞海湾に架設されて以来、利用交通量は年々増加の一途をたどり、交通混雑が発生している。そこで、交通混雑の緩和、今後の交通量の増大に対応するために、現在の2車線(2歩道)から歩道部を撤去して4車線拡幅工事が行われている。この拡幅工事(床版構造の変更を含む)に伴って、若戸大橋の振動性状が変化することが予想される。拡幅工事に伴う動的応答の変化や耐風・耐震上の安全性を検討するためには、固有振動特性を把握しておくことが必要である。そこで、著者等は、拡幅工事に伴う固有振動特性の変化を検討するために、有限要素法による固有振動解析を行いつつある。本研究では、改修前の固有振動解析を行い、計測結果との比較を行うものである。

2. 若戸大橋の概要 若戸大橋の吊橋部の一般図を図-1に、また、標準断面図を図-2、3に示す。構造諸元は次のとおりである。

・型 式：3径間2ヒンジ単純吊橋

・径 間 割：89m+367m+89m

・ケーブル：サグ $f = 35\text{m}$ (側径間 $f_1 = 1.865\text{m}$)、断面積 $A_c = 0.124\text{m}^2$ 、死荷重 $w_c = 1.4\text{t/m}$ 、ケーブル長 $L_E = 795.8\text{m}$ 、ヤング率 $E_c = 2.0 \times 10^4\text{t/m}^2$

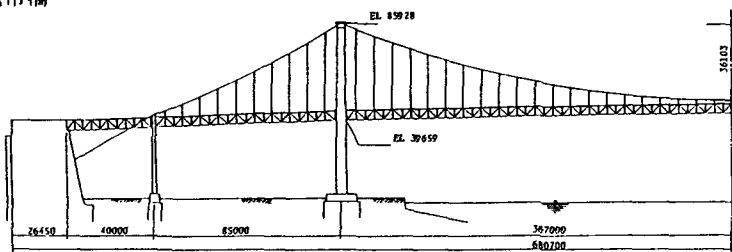


図-1 若戸大橋の一般図

・補 剛 桁：中路式トラス型式(リ

ベット接合)、主構高 $H = 4.5\text{m}$ 、主構間隔 $B = 19.6\text{m}$ 、死荷重 $w_t = 6.2\text{t/m}$ ($w_{t1} = 6.3\text{t/m}$)、断面2次モーメント(鉛直) $I_v = 0.45\text{m}^4$ ($I_{v1} = 0.36\text{m}^4$)、断面2次モーメント(水平) $I_h = 17.1\text{m}^4$ 、ヤング率 $E = 2.1 \times 10^7\text{t/m}^2$ 、極慣性モーメント $I_p = 81.1\text{t}\cdot\text{s}^2$ ($I_{p1} = 81.9\text{t}\cdot\text{s}^2$)、ねじれ剛性係数 $J = 0.54\text{m}^4$ ($J_1 = 0.36\text{m}^4$)、曲げねじれ剛性係数 $I_\omega = 122.3\text{m}^6$ ($I_{\omega1} = 97.6\text{m}^6$)

・塔：フレキシブル塔

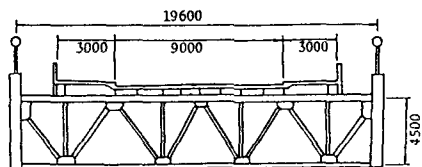


図-2 拡幅前標準断面

補剛トラスの断面は、スパン方向に変化しており一様な死荷重とまらないが、計算では設計時の応力解析の標準断面を用いた。また、ねじれ振動解析に必要な断面定数 I_v 、 I_ω 、 J を求めるにあたって、断面の回転中心を補剛トラスの中心(トラスの主構高さの半分)とした。

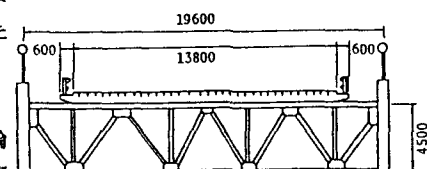


図-3 拡幅後標準断面(案)

3. 解析上の仮定 吊橋の解析に一般的に用いられる撓度理論と同じ仮定を用いる。吊橋の固有振動数に及ぼす連成振動の影響は微小振動の範囲では小さいので、鉛直・ねじれおよび水平振動

の各々が独立に生ずるという非連成法を用いる。なお、補剛トラスは薄肉断面はりとなされ、一般のはり理論が成立する。

4. 解法 変位法による有限要素法を用いて吊橋の離散化を行う。1 節点の自由度は、鉛直およびねじれ 2、水平振動 3 である。解の収束および精度は文献¹⁾に詳しく述べている。

5. 数値結果 (1)固有振動数 表-1 に若戸大橋の鉛直、ねじれおよび水平(横たわみ)振動の固有振動数を対称・逆対称の各 4 次まで示している。表には、1988 年と 1962 年に行われた振動計測⁴⁾の結果を併記している。鉛直振動について注目すると、対称振動は計算値と計測値とよく対応しているが、1 次の逆対称振動は計測値が 32% 高い。計測値に注目すると、1962 年と 1988 年の結果に差がある。この原因は架設後しばらくしてセンタースティが取付けられたためである。センタースティを考慮した再計算を行うと表-2 のとおりで、センタースティを考慮した計算値は 1988 年の計測値とよく一致している。また、鉛直振動の計算値は、計測値と比べ、1 次が低め、高次になるにつれて高めになる傾向にある。ねじれ振動と水平振動については、いずれも対称 1 次振動の計測値のみが得られているが、どちらも計測値が高め(25%、17%)となっている。固有振動形に注目すると、計算結果と計測結果はよく一致していることを確認している。

(2)固有振動数に及ぼすケーブルのヤング率の影響 吊橋の鉛直・ねじれの対称振動では、ケーブルに弾性伸びが生ずるために、ケーブルのヤング率 E_c の影響を受ける。通常使用される $E_c=2.0 \times 10^7$ t/m² と設計時の $E_c=1.6 \times 10^7$ t/m² の結果を比較すると、表-3 の(a)、(b)欄のとおりである。ケーブルのヤング率の大きさの影響は、1 次振動に効くことがわかる。 $E_c=1.6 \times 10^7$ t/m² の大きさを使用することは、過小評価といえる。

(3)固有振動数に及ぼす側径間の影響 3 径間 2 ヒンジ単吊橋の中央径間と側径間の連成振動の原因は、ケーブルの弾性伸びによる変動張力である。したがって、鉛直・ねじれの対称振動では、中央径間と側径間の振動が連成する。事実、固有振動形は、中央径間と側径間の連成が生じている。固有振動数に及ぼす側径間の影響を評価すると表-4 のとおりである。表に示した中央径間の振動が卓越する固有振動形をもつ固有振動数は、側径間の振動の影響をあまり受けない。

6. まとめ 若戸大橋の改修前の固有振動特性について、計算値と計測値を比較しつつ、2、3 の考察を加えた。ひき続いて、拡幅後の固有振動解析を行う予定である。本研究を行うにあたって、資料を提供された日本構造橋梁研究所(株)、フジエンジニアリング(株)のお世話になったことを付記する。

参考文献 1) Takahashi, K.: Theoretical and Applied Mechanics, Vol. 29, 1981. 2) 横河工事・フジエンジニアリング: 若戸大橋拡幅前後の振動実験-工事前-, 1988.10.

表-1 固有振動数の計算値と計測値

振動次数		計算値 (A)		計測値 (B)		計測値 (C)		(B) / (A)
	対称性	次数	(Hz)	1988年 (Hz)	1962年 (Hz)			
鉛直振動	対称	1	0.342	0.361	0.349-0.368	1.06		
		2	0.496	0.513-0.518	0.518-0.520	1.04		
		3	1.153	1.099-1.113	1.091-1.111	0.96		
		4	2.162	1.875	-	0.87		
	逆対称	1	0.252	0.332	0.261	1.32		
		2	0.770	0.776-0.781	0.757-0.771	1.01		
		3	1.614	1.499	-	0.93		
		4	2.793	-	-	-		
ねじれ振動	対称	1	0.516	0.630-0.654	0.642-0.650	1.25		
		2	1.048	-	-	-		
		3	2.090	-	-	-		
		4	3.549	-	-	-		
	逆対称	1	0.840	-	-	-		
		2	1.516	-	-	-		
		3	2.764	-	-	-		
		4	4.443	-	-	-		
水平振動	対称	1	0.236	0.260-0.290	-	1.17		
		2	0.671	-	-	-		
		3	0.950	-	-	-		
		4	1.392	-	-	-		
	逆対称	1	0.669	-	-	-		
		2	0.838	-	-	-		
		3	1.134	-	-	-		
		4	1.665	-	-	-		

表-2 逆対称 1 次振動に及ぼすセンタースティの影響

センタースティ	計算値 A (Hz)	計測値 B (Hz)	B/A
無	0.252	0.261 (1962 年)	1.04
有	0.344	0.332 (1988 年)	0.97

表-3 ケーブルのヤング率の影響

振動次数		(a)	(b)	
対称性 次数		振動数 (Hz)	振動数 (Hz)	
鉛直振動	対称	1	0.342	0.318
		2	0.496	0.490
		3	1.153	1.152
		4	2.162	2.162
ねじれ振動	対称	1	0.517	0.484
		2	1.048	1.046
		3	2.090	2.090
		4	3.549	3.549

表-4 側径間の影響

振動次数		側径間考慮	側径間無視	
対称性次数		振動数 (Hz)	振動数 (Hz)	
鉛直振動	対称	1	0.342	0.358
		2	0.496	0.506
		3	1.153	1.153
		4	2.162	2.162
ねじれ振動	対称	1	0.517	0.525
		2	1.048	1.050
		3	2.090	2.090
		4	3.549	3.549