

I-251 超長大橋梁の全橋模型風洞試験 — 主塔模型の設計検討 —

住友重機械工業㈱ ○正員 荒居祐基, 正員 宮崎正男
横浜国立大学 正員 宮田利雄
建設省土木研究所 正員 横山功一
本州四国連絡橋公団 正員 勝地 弘

1. まえがき

明石海峡大橋大型風洞試験の実施に先立ち、1/100 縮尺の全橋風洞模型のうち主塔模型の設計を行なった。大型風洞試験は3次元全橋模型試験であり、2次元試験では得られない実橋の風荷重作用による静的横変形下での振動といった現象を、3次元的に評価しようとするものである。従って、従来の吊橋主塔の模型設計とは異なり、主塔自身の静的、動的挙動はもとより、吊橋全体系の挙動にも着目して模型化を図らなければならない。ここでは事前解析にもとづき、主塔模型が補剛桁を主とする全体系の挙動に及ぼす影響について定量的な評価を加えるとともに、風荷重作用下の横変形時における補剛桁や主塔自身の振動特性、および静的変形特性を精度よく相似させた主塔の模型設計をいかに実現したかを報告する。

2. 実橋全体系解析

明石海峡大橋の全体系固有値解析結果を表. 1に示す。解析は無風時状態と風速40 m/sと80 m/sの有風時横変形状態で実施した。表. 1より、耐風性を評価する上で重要となる桁低次の振動モードでは、風による横変形下で固有振動数はさほど変化しないことが判明した。ただし振動モード形状は、有風時で桁が横変形状態にあるため、無風時のものと若干異なってくることが一般化質量の変化により読み取れる。図. 1に桁の鉛直曲げ1次とねじれ1次の無風時、有風時の振動モードをそれぞれ示すが、図より、有風時では無風時にはない振動成分の連成がみられる。また、図. 2には風速80 m/s下での補剛桁の横変形状態とねじれ変形状態を、図. 3には中央径間中央点と主塔塔頂部の変形状態をそれぞれ示す。

3. 模型化検討

風洞試験の模型化では以上のような実橋の静的、動的特性を相似させなければならない。しかしながら、模型の剛性相似において、主塔を構成する各部材の二軸曲げ、ねじれ、伸びの全剛性を同時に相似させることは現実的に不可能であるため、全体挙動に影響の少ない部材剛性については、相似則の緩和を行なわなければならない。こうした剛性相似の緩和は、主塔模型構成部材の各剛性が主塔単独の応答特性、および全体系の応答特性へ与える影響度をパラメータ解析により評価し、実施することとした。その結果の一例を表. 2に示す。検討の結果、実橋の振動特性の相似条件より、塔柱には二軸曲げとねじれ剛性、腹材には二軸曲げ剛性をそれぞれ相似させて模型化を図った。しかしながら、模型の静的解析を実施して模型全体系の静的変形量を調べてみると、塔柱と腹材の伸び剛性の非相似により塔全体の面内剛性が増し、このため塔頂の面内変位に誤差が発生して、この誤差が桁横変形量の誤差を発生させることが判明した。そこで主塔の模型化では斜材の一部の交差部を切り離し、斜材のトラス効果を軽減して面内剛性を合わせる方法を用いた。

4. 模型性能解析

以上の模型化検討により設計した模型が所要の特性を再現しているかどうか、模型の性能解析を実施して確認した。表. 3、4にその結果を示す。これより模型の振動特性は無風時、有風時ともに実橋とよく一致していることがわかる。しかし、静的変形特性のうち、桁の水平変位と鉛直変位は実橋にほぼ一致するが、ねじれ変位に若干の誤差が発生する。この誤差は塔の横変形下における両塔柱の塔頂鉛直変位誤差により発生するもので、塔柱の伸び剛性相似を無視したことに起因するため、この程度の誤差は止むを得ないものと判断した。

5. あとがき

今回の主塔模型設計では、吊橋全体系の静的、動的挙動に着目し、主塔模型の全体系へ与える影響を事前のパラメータ解析により評価した結果、主塔自身の特性とともに、風荷重作用下の補剛桁横変形状態での全橋の振動特性を良好な実験精度で再現することができた。

なお、本検討は本州四国連絡橋耐風委員会風洞試験作業班の活動の一環として実施されたものである。

表. 1 実橋固有値解析結果

	U=0 M/S		U=40 M/S		U=80 M/S		MODE
	f1 (Hz)	f2 (Hz)	f2/f1	f3 (Hz)	f3/f1		
固	0.0388	0.0387	1.00	0.0395	1.02	水平曲げ対称1次	
有	0.0776	0.0777	1.00	0.0788	1.02	水平曲げ逆対称1次	
振	0.0639	0.0638	1.00	0.0642	1.00	鉛直曲げ対称1次	
動	0.0750	0.0750	1.00	0.0762	1.02	鉛直曲げ逆対称1次	
数	0.1473	0.1471	1.00	0.1468	1.00	捩れ対称1次	

	m1(t/s ² /m)	m2(t/s ² /m)	m2/m1	m3(t/s ² /m)	m3/m1	MODE
一	4574.9	4589.6	1.00	4770.5	1.04	水平曲げ対称1次
般	3269.5	3287.8	1.01	3779.4	1.16	水平曲げ逆対称1次
化	6328.0	6269.2	0.99	6186.8	0.98	鉛直曲げ対称1次
質	8807.2	8608.4	0.98	8599.2	0.98	鉛直曲げ逆対称1次
量	3594.0	3522.0	0.98	3190.5	0.89	捩れ対称1次

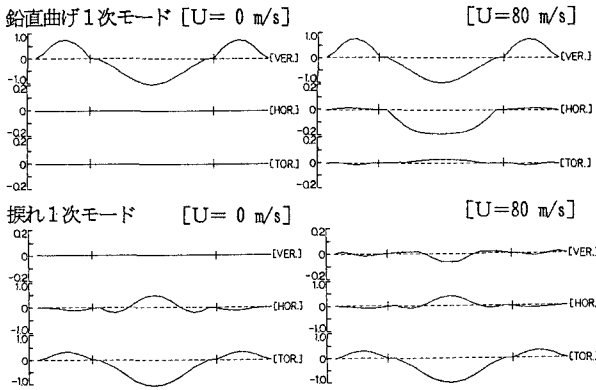


図. 1 有風時の桁振動モードの連成状態

表. 2 主塔剛性パラメータの全体系振動への影響

CASE	塔柱断面 定数 (倍)				腹材断面 定数 (倍)				MODE 1		MODE 2		MODE 10	
	A	J	IY	IZ	A	J	IY	IZ	f (Hz)	比	f (Hz)	比	f (Hz)	比
	1	1	1	1	1	1	1	1						
0	1	1	1	1	1	1	1	1	0.388	—	0.639	—	1.473	—
1	50	1	1	1	1	1	1	1	0.391	1.01	0.640	1.00	1.477	1.00
2	1	1	1	1	50	1	1	1	0.389	1.00	0.639	1.00	1.473	1.00
3	1	2	1	1	1	1	1	1	0.388	1.00	0.639	1.00	1.505	1.02
4	1	1	1	1	1	2	1	1	0.388	1.00	0.639	1.00	1.473	1.00

表. 3 模型の振動特性

	U=0 M/S				U=80 M/S				MODE
	所要値	模型値	比		所要値	模型値	比		
固	0.388	0.387	1.00		0.395	0.396	1.00		水平曲げ対称1次
有	0.776	0.777	1.00		0.788	0.791	1.00		水平曲げ逆対称1次
振	0.639	0.639	1.00		0.642	0.642	1.00		鉛直曲げ対称1次
動	0.750	0.750	1.00		0.762	0.762	1.00		鉛直曲げ逆対称1次
数	1.473	1.476	1.00		1.468	1.471	1.00		捩れ対称1次

(×0.01kg・s ² /cm)							
	所要値		模型値		比	MODE	
	所要値	模型値	比	所要値			模型値
一般化質量	4,575	4,589	1.00	4,771	4,754	1.00	水平曲げ対称1次
	3,270	3,265	1.00	3,780	3,815	1.01	水平曲げ逆対称1次
	6,328	6,336	1.00	6,187	6,179	1.00	鉛直曲げ対称1次
	8,807	8,816	1.00	8,599	8,768	1.02	鉛直曲げ逆対称1次
	3,594	3,592	1.00	3,191	3,206	1.00	捩れ対称1次

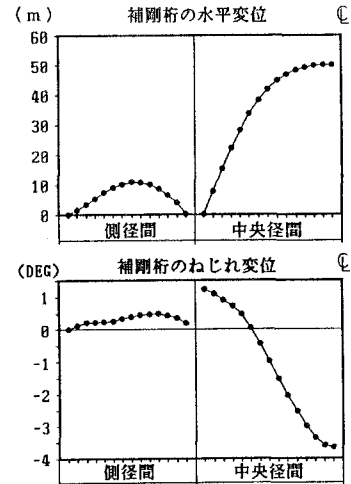


図. 2 風速80 m/sでの桁変形状態

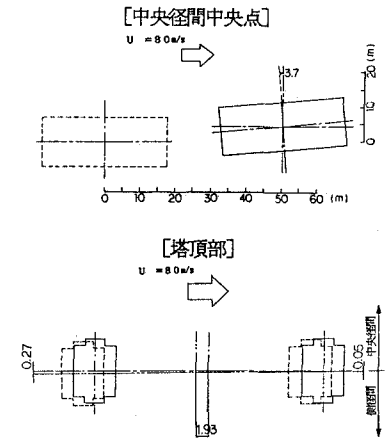


図. 3 風速80 m/sでの静的変形状態

表. 4 模型の静的変形特性

	所要値 (mm)	模型値 (mm)	誤差 (mm)
中央	500.8	501.9	1.1
径間	44.6	44.4	-0.2
中央	-3.6	-4.3	-0.7
橋	2.7	2.9	0.2
方	0.5	0.3	-0.2
向	19.3	20.2	0.9
橋	19.3	20.2	0.9
角			
方			