

住友重機械工業 正員 ○武内 隆文
住友重機械工業 正員 北原 俊男
住友重機械工業 鈴木 義光

1. まえがき・・・従来より、独立状態の長大橋主塔においては、渦励振等の空力振動の発現を抑えるための種々の制振対策が実施されている。塔高の高い超長大橋の主塔では、独立状態はもちろんのこと、完成系での渦励振発現の恐れがあり、¹⁾ 完成系主塔の空力挙動を調べるための第一段階として、塔頂部を拘束した実験を実施した結果、無視できない程度の渦励振が発現する可能性があることを既に指摘した。²⁾ しかしながら、完成系における主塔の振動数及び構造減衰が不明であったため、今回、固有値解析と構造振動模型実験を実施した。同時に、風洞実験で、初期減衰値をパラメータとし、応答値がどう変化するかを調査し、更に、風洞内に発生させた境界層乱流中で、応答がどの程度まで抑制されるかを調べたので、ここに報告する。

2. 固有値解析と全径間構造振動模型実験・・・(1) まず、主塔独立状態及び完成系全径間の固有値解析を構造解析プログラム・SAP V（三次元立体解析）によって行なった。表1の独立状態の所要値に示す値は、主塔の独立状態を対象とした解析より計算した値であり、同全径間全体系の所要値及び、表2の数値解析値に示す値は完成系全径間を対象とした解析より計算した値である。完成系全径間解析の結果の代表例として完成系での主塔

曲げ振動モード図を図1に示す。（主塔曲げは、56, 58次で振れは、74, 84次で現われている。）
(2) 次に全径間構造振動模型実験について記す。実験模様を写真1に示

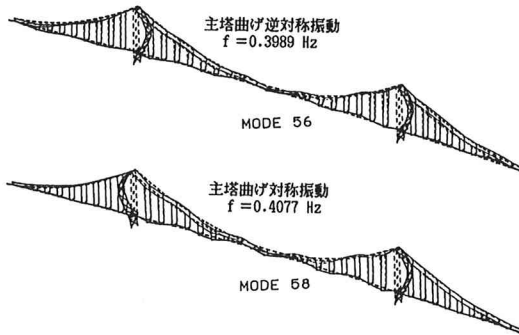


図1 完成系における主塔振動モード図（曲げ振動）

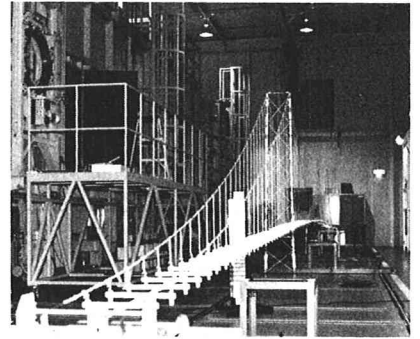


写真1 構造振動模型実験模様

表1 独立状態及び全体系の振動特性

物理量	MODE	実験値	所要値
主塔独立状態	振動数	曲げ1次 1.6873 Hz	1.597 Hz
	対数減衰率	振れ1次 6.1729 Hz	5.757 Hz
	振動数	曲げ1次 0.0067	0.01
	対数減衰率	振れ1次 0.0064	0.01
全径間全体系・桁	振動数	曲げ1次 1.0251 Hz	0.983 Hz
	対数減衰率	振れ1次 2.5674 Hz	2.682 Hz
	振動数	曲げ1次 0.023 ($\eta=5\text{mm}$)	0.03
	対数減衰率	振れ1次 0.032 ($\phi=2^\circ$)	0.03

すが、全長 16mの模型で剛性棒で桁及び主塔の剛性を相似させた。主塔曲げ剛性のチェックを行なった後、独立状態での振動計測を実施し、表1独立状態の欄に示す結果を得た。振動数は若干高めとなっているが、対数減衰率は0.01以下の値を示した。続いて全径間全体系の加振実験を実施し、表1に示す結果を得た。振動数については良い一致を示していると考えられ、この時の減衰も、0.03に近い値を示していた。以上よ

表2 完成系・主塔の振動特性

加振モード	振 動 数		<※ 変位計測は主塔62%高さ> 対数減衰率・実験結果
	実験値	数値解析値	
曲げ・逆対称	6.3514 Hz	6.3072 Hz	0.0392~0.0506 ($2\eta=7.5\sim5\text{mm}$)
曲げ・対称	6.3737 Hz	6.4463 Hz	0.0380~0.0448 ($2\eta=7.5\sim5\text{mm}$)
曲げ1主塔加振	6.3682 Hz	—	0.0383~0.0447 ($2\eta=7.5\sim5\text{mm}$)
振れ・逆対称	8.0829 Hz	8.4227 Hz	0.0222~0.0163 ($2\phi=2.5\sim2^\circ$)
振れ・対称	8.2024 Hz	9.4584 Hz	0.0173~0.0098 ($2\phi=2.5\sim2^\circ$)
振れ1主塔加振	8.1940 Hz	—	0.0143 ($2\phi=2.5^\circ$)

り、本模型は、設計において一般的に用いられている実橋の振動特性（特に減衰特性）を比較的良く相似していると考えられたので、主塔の加振実験を行ない、完成系における主塔の振動特性を計測した。結果を表2に示すが、振れ・対称加振を除く他E-Fの振動数は数値解析値と非常に良い一致を示していた。この場合の主塔の構造減衰は、曲げ振動E-Fで $\delta \eta = 0.038 \sim 0.051$ 、振れ振動E-Fで $\delta \phi = 0.01 \sim 0.022$ という値が計測された。

3. 塔頂部拘束風洞実験・・・以上で完成系の主塔の振動数が数値解析により、一方、減衰の概略値が実験より求まったが、これをもとに主塔模型の塔頂部をピアノ線にて拘束した状態で風洞実験を実施した。パラメータとしたのは初期減衰であり、 $\delta = 0.016, 0.03, 0.05$ 付近を設定目安値とした。実験結果を整理し、V-A（風速-応答）を図2、3に示す。尚、振幅は主塔の約54%高さの位置で計測した。図2は $\beta = 0^\circ$ （橋軸直角からの風）、図3は $\beta = 10^\circ$ の応答を示す。 β がこの間では、曲げ振動が30m/s～40m/sの風速で現われ、振れ振動が55m/s～70m/sの風速で現われている。初期減衰の増加に伴ない応答値は小さくなっているが、 $\beta = 0^\circ$ の場合 $\delta = 0.05$ においても曲げ振動は倍振幅で約1.3m、振れ振動は倍振幅で 2° 現われている。 $\beta = 10^\circ$ においては、風速80m/s以上で振れの発散振動と思われる振動が出たが、これは、 $\delta = 0.05$ では抑制される様である。

風洞実験における桁・ケル系の質量効果、構造振動模型におけるモデル化等に若干改良が要求される点も残されていると考えられるが、上記の $\beta = 0^\circ$ 、 $\delta = 0.05$ における応答程度の振動が現われる可能性は高く、何らかの方法で抑制する必要があるものと考えられる。

4. 境界層乱流中・塔頂部拘束実験・・・一般に、独立状態について、自然風中では一様流中での応答よりその値が小さくなると言われている。その為、風洞内にべき

5. まとめ・・・(1) 固有値解析と構造振動模型実験とから、完成系主塔の構造減衰は、対数減衰率で最大0.05程度であることが判明し、この程度の減衰では曲げ・振れとも制振が必要と考えられる応答値が風洞実験で観測された。これに対し境界層乱流中での実験を行ない、一様流中より応答値が小さくなる傾向が明らかとなった。(2) 更に、塔柱断面の幾何学形状を変えて、空力的に安定な断面にすることの重ね合わせで、完成系主塔の空力不安定振動の発現を抑制することが可能であると考えられる。

文献> 1)白石・松本：本四公団委託研究成果報告書，京大橋梁工学研究室，昭和61年3月

2)武内・北原：超長大橋主塔の渦励振の発現と空力制振法に関する基礎的研究，第9回風工学シンポジウム，1986

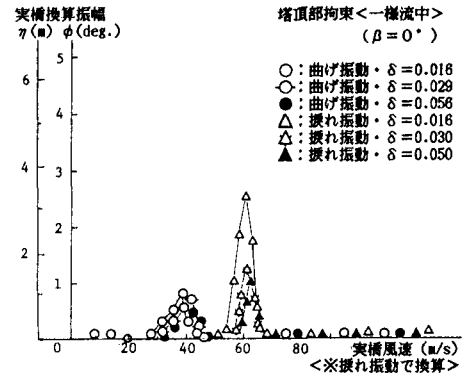


図2 塔頂拘束状態主塔の減衰による応答変化

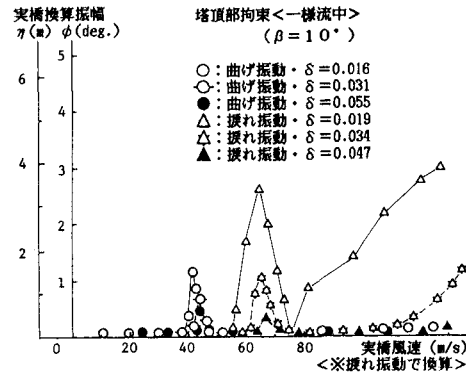


図3 塔頂拘束状態主塔の減衰による応答変化

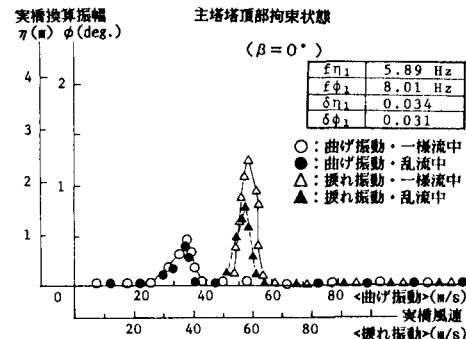


図4 境界層乱流中でのV-A（風速-応答）