

PS I -20 長大吊橋主塔の空力特性の改善に関する実験的研究

本州四国連絡橋公団 正員 岡野 哲
 ○川崎重工業株式会社 正員 小川一志

本州四国連絡橋公団 正員 栗野純孝
 川崎重工業株式会社 正員 酒井洋典

1. まえがき 吊橋完成時の主塔は、上端自由の独立塔の状態に比べると剛性が高いが、吊橋の長大化にともなって塔高が伸びて塔剛性が低下すると、設計風速の範囲内でも風による振動が問題となってくる可能性がある。吊橋完成時の主塔は塔頂部からケーブル反力（鉛直方向の圧縮力）を受けており、風による振動は吊橋の安全性の面で好ましいことではない。本研究は2000m級吊橋の完成時主塔（塔高約 300m）を対象に、風による振動を抑制するために、塔形状の工夫による空力特性の改善策を実験的に検討したものである。

2. 実験概要 対象とした吊橋主塔の基本図を図1に、振動条件を表1に示す。吊橋上部工は主塔、ケーブル、桁から構成されるが、風洞模型には主塔だけを取り出した3次元弾性模型（縮尺1/150）を採用し、ケーブルと桁の動的影響に関しては拘束効果（主塔の振動モード）と質量効果（ケーブル、桁の質量を加味した等価質量）の実橋への相似を考慮することとした。

3. 主塔基本断面の耐風応答特性 基本断面における風速と振幅の関係を図2に示す。主塔の振動を抑制する振幅の目安として、仮に、塔面外曲げ渦励振1.7m、ねじれ渦励振1mとすると、耐風性の改善が望まれるのは、風向 $\beta=10^\circ$ のときの塔面外曲げ渦励振とねじれ渦励振である。

4. 主塔断面の隅切りによる空力特性の改善

主塔断面の隅切り深さ h と渦励振応答振幅の関係を図3に示す。隅切り深さ1mにすると、 $\beta=10^\circ$ の塔面外曲げ渦励振（倍振幅）は1.3mに低下するが反面、 $\beta=0^\circ$ （橋軸直角方向の風向）の塔面外曲げ渦励振は2.7mにも達する。隅切り深さを1.15m、1.3mと深くすると、 $\beta=0^\circ$ の応答振幅は小さくなるが、 $\beta=10^\circ$ の応答値は大きくなる。このように、風向 $\beta=0^\circ, 10^\circ$ を含む任意の風向に対して空力特性の良好な隅切り形状をみつけることはかなり難しい。

5. 塔柱の風穴による空力特性の改善 主塔に図1のような風穴（風穴寸法；幅2m×高9m、1柱当りの風穴数；2列×8段）を明けた場合、渦励振の振幅は大幅に減少または消滅し、風穴による顕著な空力特性の改善を認めることができる。図4は風穴の開口率（風穴面積／塔柱の外郭面積）と塔面外

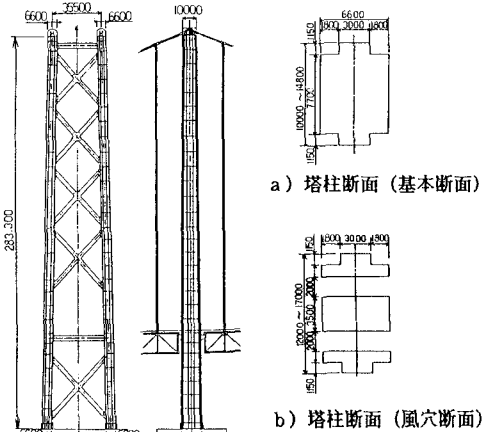


図1 吊橋主塔基本図

表1 吊橋完成時主塔の振動条件

塔面外曲げ1次	(3,661)
ねじれ1次	5.851 (11°) / (rad/sec)
塔面外曲げ1次	(3,405)
ねじれ1次	4.269 (11°) / (rad/sec)
塔面外曲げ1次	0.464 Hz
ねじれ1次	0.715 Hz
塔面外曲げ1次	0.482 Hz
ねじれ1次	0.02
塔面外曲げ1次	0.02
ねじれ1次	0.02

() 内の数値はケーブル、桁の質量効果を無視した場合の値

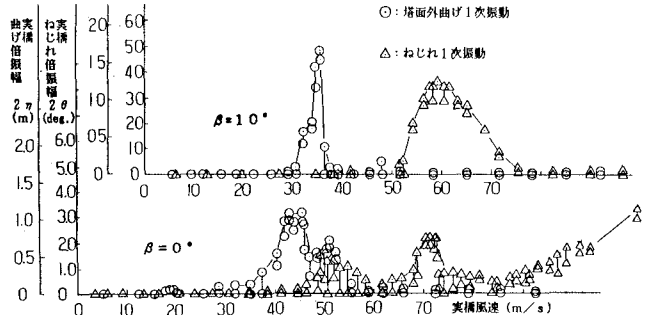


図2 V-A図（基本断面）

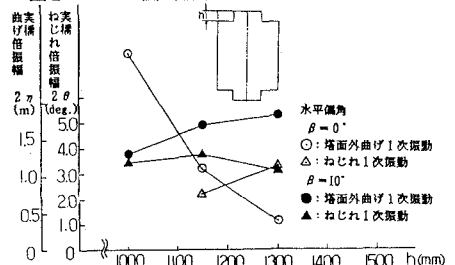


図3 隅切り深さ“h”と渦励振応答振幅の関係

曲げ渦励振の応答振幅との関係を調べたものである。風穴の形状や配置によって多少の変動はあるが、風穴の抑制効果はおおむね開口率によって方向づけられている。煙風洞を使って、塔柱まわりの風の流れをスケッチしたものを図5に示す。基本断面では塔の後流に大きな渦が形成されているが、風穴断面では風穴が風を吹き抜けて、風穴によって分断された各塔断面の後流には小規模な渦が発生している。渦励振の応答振幅は塔の後流渦の強さ（大きさ）と対応することを考えると、風穴によって後流渦の励振力が大幅に弱められていることがわかる。

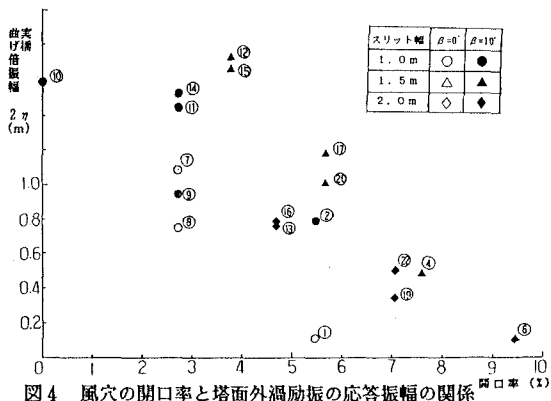


図4 風穴の開口率と塔面外渦励振の応答振幅の関係

6. 導流板による空力特性の改善 主塔の外側隅角部に図6のような導流板（フラップ）を配置したときの耐風応答特性を図7に示す。この実験では表1の（ ）内に示すような軽い質量にしている関係から、基本断面の応答は前節までのケースに比べて大きくなっている。導流板の配置によって、渦励振の応答振幅はほぼ許容値の範囲に収まり、高風速域でのねじれ発散振動も消滅している。数値流動解析の結果から判断すると、導流板が塔断面まわりの風の流れをスムーズにして塔からの剝離流を弱めるとともに、後流渦の成長域を塔背面から離す作用が効いているものと考えられる。

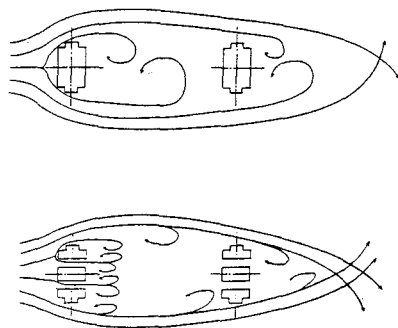


図5 塔断面まわりの流況

7. まとめ 長大吊橋主塔の空力対策として、①隅切り形状の工夫 ②風穴の配置 ③導流板の配置の各案を検討し、②と③によって主塔の空力特性の改善に有効な方策をみつけることができたと考えられる。

8. 参考文献 1)新井，田口，谷；離散渦法による並列2角柱まわりの流れの解析，日本機械学会論文集，53-486，B，1987
2)白石，中西，井下，本田；スリットを有する斜張橋の塔（1本柱）の耐風性について，第42回土木学会年講，I-321，1987

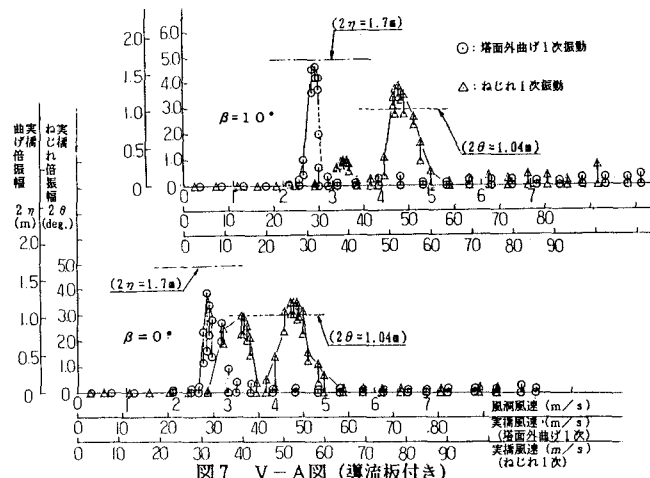
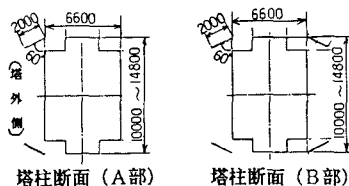


図7 V-A図（導流板付き）



塔柱断面（A部）

塔柱断面（B部）

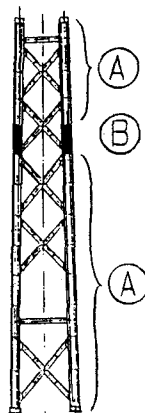


図6 導流板の形状