

首都高速道路公団 正員 戸田 透

首都高速道路公団 正員 山崎和夫

川崎重工業(株) 正員 ○酒井洋典

川崎重工業(株) 正員 小川一志

1 まえがき 本実験で対象とする斜張橋主塔は、最大径間220mの4径間連続曲線箱桁とケーブルで支持する高さ60mの塔である。塔は独立1本柱形式であるが、中央分離帯内にケーブルを配した1面吊り形式のための橋軸方向の剛性は高いが、橋軸直角方向はケーブルの剛性寄与が期待できず剛性が低い。そのため、橋軸方向の風によって橋軸直角方向の曲げ振動(渦励振、ギャロッピング)を生じる恐れがある。さらに、本橋の場合、架設地点の卓越風向が橋軸方向に近くなる特異状況にある。ここでは、橋軸方向の風に対する塔の耐風安定性を調べるために実施した風洞実験のうち、部分模型実験の結果について報告する。

2 実験方法 風洞は川崎重工業(株)の構造物用風洞(高さ3m×幅2.5m×長さ20m)を使用した。模型は塔頂部を対象とした縮尺1/20の2次元剛体模型である。模型寸法は、縦150mm×横125mm×長さ2250mmであり、模型隅角部は各種の空カダンパを着脱できる構造となっている。実験では、まず3分力試験を行って、塔頂部に関する静的空気力特性を把握した後、部分模型振動実験を実施して空カダンパの耐風防振効果を調べた。

3 実験結果 3分力試験の結果を表1に示す。表中において、 $(C_D)_{\alpha=0}$, $(dC_L/d\alpha)_{\alpha=0}$ は迎角 $\alpha=0^\circ$ における抗力係数と揚力係数勾配である。また、 $dC_F/d\alpha = C'_D + dC_L/d\alpha$, $C'_D = D/\gamma b$, $C_D = D/\gamma h$, $C_L = L/\gamma b$, D は抗力, L は揚力, γ は動圧, b は主流方向に平行な辺の長さ, h は主流方向に直角な辺の長さである。

表1を見ると、空カダンパNo.2を除くすべてのケースにおいて $dC_F/d\alpha$ の値が負値となっている。周知のように、ギャロッピングを生じる前提条件は $dC_F/d\alpha$ の値が負となることである。したがって、表1の3分力試験結果から、原断面だけでなく、No.2を除く他の空カダンパのケースでも、ギャロッピングを発生させる危険性のあることが指摘される。

他方、空カダンパの付設によって、抗力係数 $(C_D)_{\alpha=0}$ はかな

表1 空気力係数とギャロッピング限界風速

空カダンパの付設	模型断面	$(C_D)_{\alpha=0}$	$(dC_L/d\alpha)_{\alpha=0}$	$(dC_F/d\alpha)_{\alpha=0}$	限界風速	
					計算値	ばね支持 実験値
原断面	風→	2.57	-4.51	-1.43	32 m/s	20 m/s
No.1	風→	0.79	-5.55	-4.60	10 m/s	33 m/s
No.2	風→	0.76	1.84	2.75	発生せず	発生せず
No.3	風→	1.73	-2.72	-0.64	72 m/s	51 m/s
No.4	風→	-	-	-	-	15 m/s

注) $\frac{dC_F}{d\alpha} = C'_D + \frac{dC_L}{d\alpha}$ $C'_D = C_D \times \frac{h}{b}$

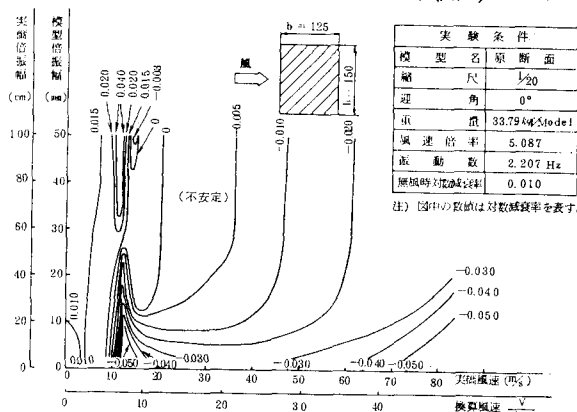


図1 V-A-δ曲線(原断面)

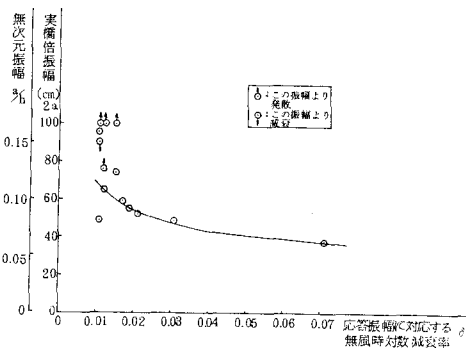


図2 δ-A曲線(原断面、迎角、渦励振領域)

り低減している。特に、No.1とNo.2の空カダンパを付設したケースでは、原断面のケースと比べて抗力係数が、 $\frac{1}{3}$ 以下となっている。空カダンパの抗力低減効果は迎角 $\alpha=0^\circ$ 付近だけでなく、試験風速範囲($-15^\circ \sim +15^\circ$)において同様に認められる。さらに、空カダンパの付設により橋軸直角方向の風に関する風荷重の軽減も予想される。

次に、部分模型振動実験の結果について述べる。図1に原断面の無風時減衰 $\delta=0.01$ 、質量減衰パラメータ $m\delta/gh^2=5.7$ 、たわみ1自由度振動のときのV-A- δ 曲線を示す。実橋風速10%付近で渦所振が発生し、12~15%でピークを迎えるが、風速の増加とともに渦励振は収まっていく。風速が20%付近になると曲げモードの発散振動であるギャロッピングが発生する。ところで、原断面の渦所振では、同一風速に2つ以上の振幅が存在する非線形応答現象が認められる。すなわち、図1の実橋風速14~15%付近では、有風時減衰が負となる不安定領域が、実橋倍振幅85cm以上と50cm以下の2ヶ所に分散して、安定領域との境(有風時減衰 $\delta=0$)に定常振幅が存在する。今回の実験の振幅範囲では、無風時減衰 δ が0.015以上になると、大振幅側の不安定領域が消滅して小振幅側の不安定領域だけが残ることが予想される。無風時減衰 δ と渦所振の最大応答振幅の関係を図2に示すが、無風時減衰 $\delta=0.015$ のところで最大応答振幅の値に段差があり、上記のV-A- δ 曲線の特徴と対応する。

ギャロッピングの限界風速に関して、3分岐試験結果の $dC_F/d\alpha$ からの計算値(Den Hartogの式)と、部分模型振動実験の実験値を比較したのが表1の右欄である。ギャロッピング限界風速の計算値は、空カダンパNo.1のケースを除いて実験値とある程度良い対応を示している。

空カダンパを付設した場合の風速とたわみ応答振幅の関係を図3に図示する。空カダンパNo.2を除いたすべてのケースでギャロッピングが発生し、さらに、空カダンパNo.3のケースでは大振幅の渦励振が発生している。その中で、空カダンパNo.2だけは実橋風速80%まで充分な防振効果を実揮していることが認められる。空カダンパの防振効果を、迎角 $\alpha=0^\circ, 5^\circ, 10^\circ, 20^\circ$ に関して一覽表にしたのが表2である。図1で述べたように、原断面では渦励振とギャロッピングが生じるため、両方の振動現象に対して防振効果を考慮する必要がある。空カダンパNo.2は、迎角 $\alpha=20^\circ$ のとき微小振幅の渦励振と不規則なたわみ振動を生じるが、それ以外の迎角($0^\circ, 5^\circ, 10^\circ$)では顕著な振動の起こっておらず、防振効果は極めて高いといえる。空カダンパNo.2の寸法を図4に示す。

4. あとがき 1本柱形式の斜張橋主塔の場合、橋軸方向の風によって渦励振とギャロッピングが発生する危険性があるが、本研究で開発した空カダンパにより耐風安定性を確保できる見通しが得られた。

(参考文献)

1) 大野・安藤・佐野・坂井; 曲線斜張橋主塔の耐風安定性とその防振対策-全体模型実験-, 土木学会年次学術講演会, I部, 1984

1) 大野・安藤・佐野・坂井; 曲線斜張橋主塔の耐風安定性とその防振対策-全体模型実験-, 土木学会年次学術講演会, I部, 1984

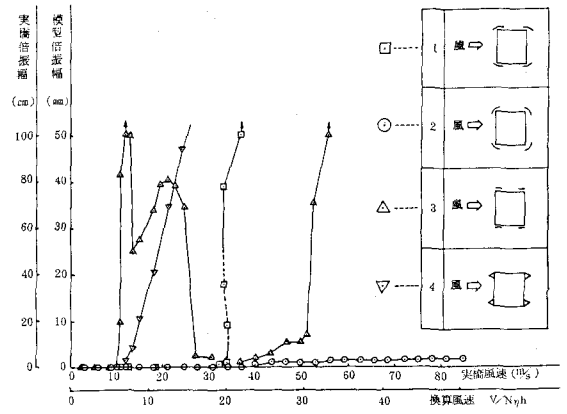


図3 空カダンパを付設したときのV-A曲線

表2 空カダンパの防振効果一覽

ダンパ	模型断面	迎角	渦励振	ギャロッピング
-		0°	X	X
		$+5^\circ$	X	X
		$+10^\circ$	X	X
		$+20^\circ$	X	△
		0°	○	X
No.1		$+5^\circ$	○	○
		$+10^\circ$	○	○
		$+20^\circ$	X	○
No.2		0°	○	○
		$+5^\circ$	○	○
		$+10^\circ$	○	○
		$+20^\circ$	△	△
No.3		0°	X	X
		$+5^\circ$	X	X
		$+10^\circ$	○	△
		$+20^\circ$	X	△
No.5		0°	○	X
		$+5^\circ$	○	X
		$+10^\circ$	○	△
		$+20^\circ$	X	△

注) ○良, △やや良, X不良

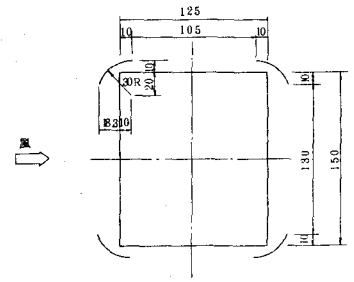


図4 空カダンパ(No.2)の寸法