

大阪市 土木局 正員 松川 昭夫
 大阪市 土木局 正員 松村 博
 大阪市 土木局 正員 亀井 正博

1. まえがき 北港連絡橋は中央径間300 mのモノケーブル自旋式吊橋である。本橋の補剛桁は、図-1に示すような広幅員でかつ桁高の低い逆台形箱桁を有しているが、このような偏平な断面形状においても風琴振動や各種フラッター振動の発生の恐れがあり、耐風安定性の検討は重要な課題となる。そこで、基本設計で決まった断面（以下、基本断面と呼ぶ）について2次元模型により風洞実験を実施し、空力特性について調査したが、低風速域にて限定振動の生じることが判明した。そこで、この振動を止めるために各種の制振装置の検討を行った。本文では、上記の一連の風洞実験の結果について報告するものである。

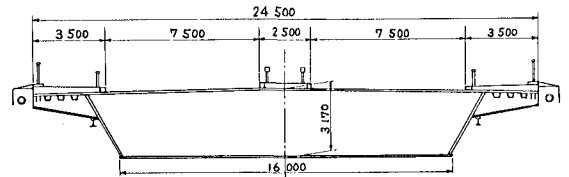


図-1 基本断面

表-1 模型諸元

項目	実 橋	模 型	
		所要値	実験値
重 量	19.15 ton/m	65.93±1.32 kg/model	65.93 kg/model
極 慣 性 モーメント	89.2 ton·m ² /m	0.392±0.008 kg·m ² /model	0.392 kg·m ² /model
振 動 数	たわみ	0.362 Hz	2.208 Hz
	ねじれ	0.924 Hz	5.592 Hz
振動数比	$\frac{1}{2.552}$	$\frac{1}{2.552 \pm 0.128}$	$\frac{1}{2.533}$
風速倍率	—	—	4.59(たわみ) 4.63(ねじれ)
構 造 減 衰	たわみ	—	0.020±0.005
	ねじれ	—	0.020±0.005

2. 実験概要 本橋は基本的に4車線構造とし、将来交通量が増加した時点で6車線に拡張することができるよう構造にしている。そのため風洞実験は基本系と拡張系との2種類とも必要であるが、空力特性としては拡張系の方が有利となるため、ここでは基本系について述べることにする。2次元模型は縮尺 $1/28$ とし、その外の諸元は表-1に示すようなものとした。ブラケットの先端は添架管を収納するためのスペースである。実験は1)バネ支持試験と2)三分力試験で、風洞の風は一様流とした。

3. 実験結果 まず、基本断面についてバネ支持試験を行った。この時の風の迎角は $0^\circ, \pm 3^\circ, \pm 5^\circ, \pm 7^\circ$ の7ケースとし、実橋換算で 100 m/s までの風速域で発生する

振幅を計測した。図-2に試験結果の一例を示す。たわみの限定振動は実風速で $15 \sim 20 \text{ m/s}$ 付近に発生し、迎角が大きくなると振幅が大きくなる傾向にある。また、迎角 $+5^\circ$ ならびに $+7^\circ$ において、限定振動の発生する $1/2$

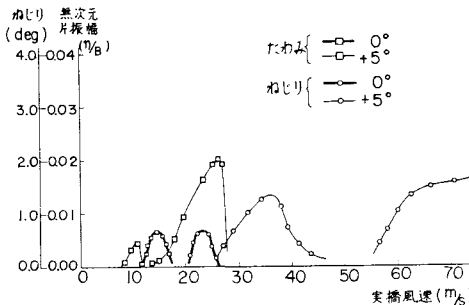
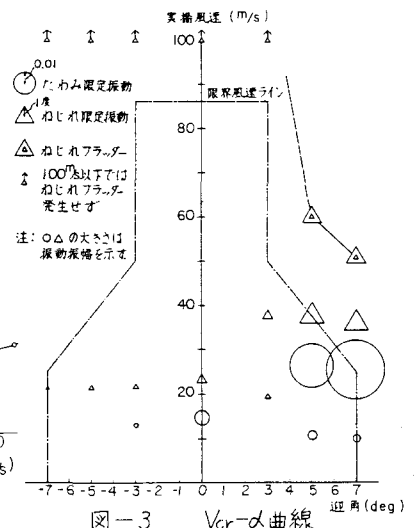


図-2 V-A曲線

図-3 $V_{cr}-\alpha$ 曲線

の風速で、振幅の若干小さい振動が発生している。これは、ねじり振動についても迎角 $+3^\circ$ で同様な結果となっている。迎角 0° の時、実橋換算で 154 mm のたわみの最大片振幅を生じており、また、迎角の大きい時に高風速域ではあるがねじりフラッターが発生している。図-3に $V_{cr}-\alpha$ 曲線を示す。図中に限定振動の結果も併記し

ておいた。基本断面では有害な振動の生じることが判明したので、これを抑止するために各種の制振装置を基本断面に付加し、迎角 $\pm 7^\circ$ の範囲内で振動の生じない断面を探すことにした。制振装置としては表-2に示すような、フラップ、フェアリング、ディフレクターなどの代表的なものから、図-4に示すような各種の装置まで考え、単独で付加してバネ支持試験を行った。結果の一部を表-2に示したが、単独ではあまり良好な結果が得られないため、次にそれぞれを組み合わせて調査したところ、フラップ+スポイラーがもっとも制振効果の大きいことがわかった。そこで、フラップとスポイラーの長さや取付角度等を種々変化させ、最適な案を探し出し、最終的には図-5に示すような装置を基本断面に付加することにより、本四基準フラッター限界風速内では一切振動の発生しないことが確認できた。

表-2 代表的な制振装置

迎角 振動	$\alpha = +7^\circ$	
	たわみ振動	ねじれ振動
制振装置 フラップ 1m 10°	○限定振幅 3/5に減少	○限定振動 発生せず ○フラッターが 高風速側に うつる
フェアリング 1m	○限定振幅 1.2倍に増加 ○第2限定振動 も発生する	○限定振動振幅 1.4倍に増加 ○フラッターが 高風速側に うつる
ディフレクター 0.5m 1m	○制振効果 ほとんど無し	同左

別途実施した水槽内における流れの可視化試験(写真-1)

の結果によれば、今回採用した制振装置の効果は次のように考えられる。つまり、基本断面においては、前縁のブラケット先端上部より発生する剥離渦が橋面上を流下し、桁下面後縁より発生する剥離渦との相互作用により後流に大きな渦が生じ、それに伴う変動空気が桁に作用して振動が誘起されるものと考えられる。それに対して制振装置としてフラップとスポイラーを取り付けると、ブラケット先端上部から出る剥離渦はフラップによって抑えられ、一か、桁下面後縁から出る剥離渦はスポイラーによって乱され、かつ、一部の渦はブラケット下部内に閉じ込められることにより、大きな渦の発生が抑えられるようである。その結果、桁に作用する変動空気力も小さくなり、振動が抑制されるものと考えられる。図

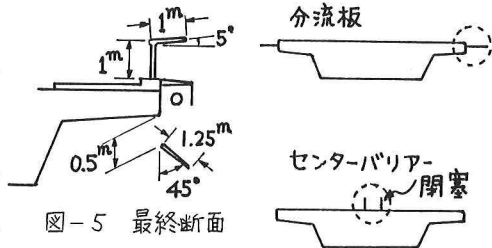


図-5 最終断面

図-6に三分力係数曲線に関する基本断面と制振対策断面との比較を示す。図からもわかるように、基本断面では $+3^\circ$ 付近から C_M が負勾配になっているが、対策断面では $+9^\circ$ 付近となっており、制振装置の効果を裏づけている。

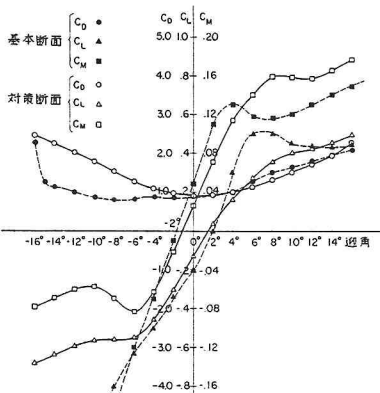


図-6 三分力係数曲線

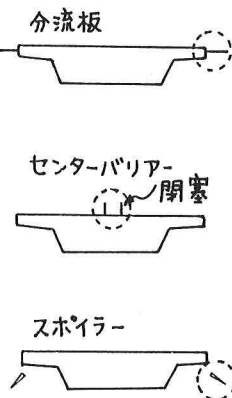
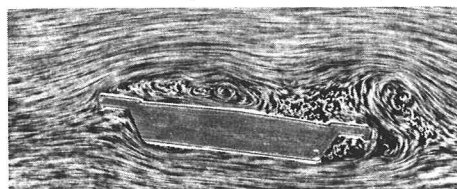


図-4 各種制振装置



a) 基本断面

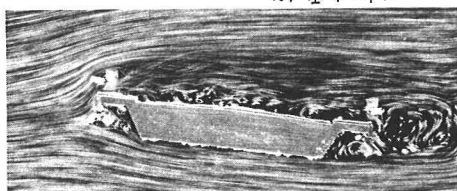


写真-1 可視化試験 b) 対策断面

4.あとがき 今回の風

洞実験により、空力的に安定した断面を得ることができた。しかしながら、例えば現地の風には風洞内の一様流と違って乱れが含まれているわけで、本橋の真の耐風安定性を知るためには、現地の風の特性を調べ、それによる本橋の応答を求めなければならない。そこで、昭和57年より架橋地点において現地風の観測を開始しており、この結果をふまえて3次元風洞実験を行う予定で、それらの成果を総合的に検討して、構造部材の疲労ならびに使用性等に着目した、より簡便で適切な制振装置を採用する予定にしている。なお、終始御指導いただいた京都大学小西一郎名誉教授ならびに大阪大学小松定夫教授に心より感謝いたします。

1) 小松他、大阪北港における自然風の統計学的諸特性に関する研究、昭和59年度 関西支部年講