

東京大学 正員 木村吉郎
 オタワ大学 正員 田中 宏

1. はじめに

長大橋の風に対する動的応答の安全性の検討は、半世紀以上にわたって続けられてきた。ただしそのほとんどの場合、風向は橋軸直角方向のみを考えることが多かった。これは、橋の応答がこの条件のもとで最大となるという半ば直観的な判断によれば、一番厳しい条件を考えているわけであるから、もっともなことといえる。しかしながら、言うまでもなく、風は橋軸直角方向から常に吹いている訳ではない。従って、より現実的に忠実な検討のためには、風向を考慮すべきである。その場合、すべての風向のもとでの橋の応答を知ったうえで、現地での自然風の風向の特性を考慮して、実際の橋の応答が予測されることになる。すなわち、“(水平)斜め方向からの風” —— 以下“斜風”と呼ぶ —— による橋の動的応答を求めることがまず必要となる。斜風を受ける橋のパフェティング応答に関しては、今までも幾つか風洞実験による研究がみられるが、その実験結果に対する説明はあまりなされていない。また、解析による検討を試みた研究もあるが¹⁾、応答の特性を説明するためには、さらに研究が必要である。

一方、架設中の斜張橋の耐風安定性は、主桁張出し工法が取られた場合、その非常に柔軟な構造により、注意深い検討が必要となる。全体模型を使った既往の風洞実験結果によると、架設中の斜張橋の乱流中におけるパフェティング応答は、必ずしも橋軸直角方向以外の風に対しては小さくなるというものではないようである。

本研究は、斜風による橋の応答を検討する端緒として、平板断面を持つカンチレバー梁を対象として、その鉛直パフェティング応答の、風向による変化を風洞実験により調べ、解析を試みたものである²⁾。カンチレバー梁は、架設中の斜張橋の極めて単純なモデルと考えられる。また、模型の支持部が模型まわりの流れに及ぼす影響は評価が難しいが、橋軸方向の風においても自由端からの風の場合は、その影響はあまり大きくないと考えられるという利点がある。

2. 風洞実験結果

模型はアルミ製で、諸元を表1に示す。座標軸等の定義を図1に示す。風の斜角 β は、模型軸直角方向をゼロとして、自由端方向からの風を正として定義している。乱流中での模型の応答は鉛直1次のパフェティング応答が支配的であった。格子乱流中(乱れの強さ: $I_u = 8.0\%$, $I_w = 6.2\%$; 乱れのスケール: $L_u^x = 24\text{mm}$, $L_w^y = 10\text{mm}$)における模型の r.m.s. 応答値の風の斜角 β による変化を図2に示す。比較のために、縦軸は模型軸直角方向の風による応答値で基準化してある。模型の幅が大きい程、自由端方向からの風による応答が相対的に大きくなっていることがわかる。また、図中“cosine rule”とあるのは、r.m.s. 応答が $\cos \beta$ に比例すると仮定したものである。特に $\beta > 0^\circ$ においてこの仮定は小さな値を与える。

表1 模型諸元

	厚さ (mm)	長さ l (mm)	幅 b (mm)	固有振動数 (Hz)		減衰比 (%)
				1次	2次	
A	0.8	305	25	7.1	44.2	0.45
B			51			0.54
C			102			0.58

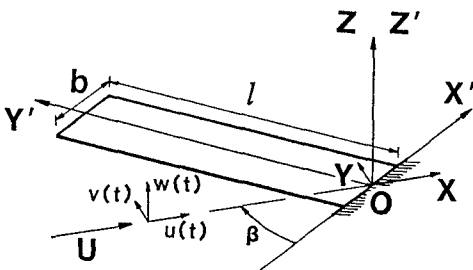


図1 座標軸等の定義

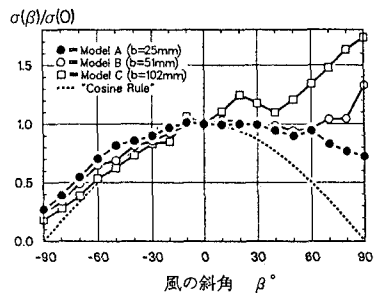


図2 模型の鉛直パフェティング応答、風速 3.0m/s

3. 斜風を考慮したパフティング応答解析

風洞実験の結果、平板断面を持つカンチレバー梁においては、その幅によっては、自由端方向からの風による鉛直パフティング応答が、軸直角方向の風によるものよりも大きくなることがわかった。つまり、こうした自由端を持つ構造物に対しては、斜風による応答を慎重に考慮する必要がある。しかしながら、従来のパフティング応答解析では、橋軸直角方向の風しか扱うことができない。そこで、ここでは、斜風の橋軸直角及び橋軸平行方向の成分をそれぞれ有効風速として仮定し、その有効風速に基づいて計算を行なうことによってパフティング応答を解析する手法を提案する。以下に主な手順を示す。

- 1) 前縁に対して直角な風速成分を有効風速とみなす。これは、航空機の後退翼に働く空気力の算定に使われる方法を、その仮定を緩めて適用したものである。カンチレバー梁においては、図3のように前縁の選び方が2通りあり、それに対応して有効風速が $U \cos \beta$ または $U \sin \beta$ となる。それぞれの場合を、cosine case 及び sine case と呼ぶことにする。Cosine case は β が 0° に近い場合、sine case は β が $\pm 90^\circ$ に近い場合に成り立つと考えられる。
- 2) それぞれの有効風速に基づいてパフティング応答計算を進める。その際、ストリップ理論を適用するが、ストリップに作用する一般化空気力の計算には、sine case の場合、モード形を考慮する必要がある。
- 3) 空力減衰は、模型を乱れの非常に少ない流れの中で自由振動させて、風の斜角による変化を測定した。その結果、空力減衰は $\cos \beta$ にほぼ比例して変化することがわかった。解析においては、その近似をした値を用いる。
- 4) 揚力係数勾配は、平板の縦横比(平板を矩形翼とみなした場合、翼幅/翼弦長)によって違ってくるので、模型の形状に応じたものを使う。同じ模型でも、cosine case と sine case では翼幅と翼弦長の取り方が逆になるので、揚力係数勾配は異なるものを使う。また、sine case では縦横比が $1/3$ 以下になり、模型の側面に沿って剥離する渦の作用により、迎角に対して揚力は非線形となるが、その影響は、平均的な揚力係数勾配をとることによって考慮している(図中で nonlinear とあるケース)。比較のために、迎角ゼロにおける揚力係数勾配を考えた linear のケースも示してある。

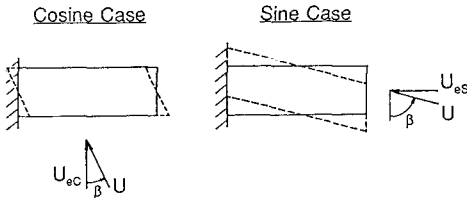


図3 cosine 及び sine case の定義

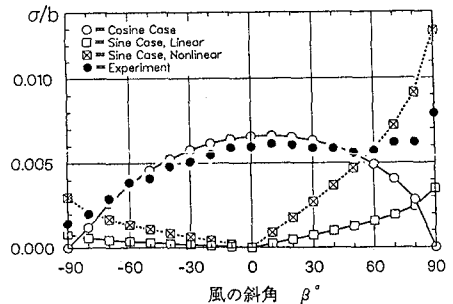


図4 解析結果と実験結果の比較、model B, 風速 3.0m/s

図4に解析結果を実験結果と共に示す。縦軸は、模型の自由端での鉛直 r.m.s. 変位を模型幅で無次元化したものである。風の斜角 β に応じて適当に cosine 及び sine case の選択を行えば、模型のパフティング応答の斜角 β による変化の概ねの傾向は、解析によって再現されている。また、ここでは図を載せられなかったが、先に述べた模型幅の応答に及ぼす影響も、解析によって説明されることがわかった。

4. まとめ

斜風を受ける橋のパフティング応答の解析を進める端緒として本研究で提案された解析は、斜風の影響を明らかにするために専ら簡明な仮定により進められている。従って、 $\beta = 60^\circ$ 付近の挙動の説明がうまく出来ないなどまだ改良の余地はあるものの、平板断面を持つカンチレバー梁の鉛直パフティング応答の、主な傾向は説明することができた。現在は、この解析方法を架設中の斜張橋に適用して、その結果を既往の実験結果と比較することを考えている。

最後に、本研究の遂行にあたり大変にお世話になった、カナダ国立研究所の R.L. Wardlaw とカールトン大学の R.J. Kind の両氏に、感謝の意を表してここに記したい。

参考文献 1) J. Xie, et al.: J. Wind Eng. and Indust. Aero., Vol.37(1), 1991. 2) K. Kimura & H. Tanaka: Proc. 8th Int. Conf. on Wind Eng., 1991. 3) K. Kimura: Ph.D. Thesis submitted to Univ. of Ottawa, 1992.