

徳島大学工学部 正員 工博 星 治雄
 徳島大学工学部 正員 工修 宇都宮英彦
 徳島大学大学院 学生員 ○岡南博天

I. まえがき

長大橋梁としての吊橋は、関門架橋をはじめ本四連絡橋梁設計画にも見られるように、わが国でも現実の問題として注目されており、吊橋の耐風応答の問題は斜張橋およびその他の構造物におけると同じように、その長大化高層化とともに次第に重要なものとなってきている。そこで、吊橋の耐風安定性を検討するための基礎的なデータを得る目的で、その断面形状を理想化して平板構造と見なし、二自由度の部分模型を対象として、空気力学的特性をアナログ・シミュレーションによって検討する方法について述べる。

II. 空気力

空気力としては、準定常空気力を仮定することによって解析を進めることにする。この仮定においては、構造物の振動は作用する風速に比較して相当にゆっくりしたものでなければならない。ここで対称としている平板構造物では、限界風速付近においては渦による振動を無視して、曲げ・ねじり連成フラッター問題として解析する。Y. Fung によれば、準定常理論で導かれた、物体に作用する揚力 L (下向きを正) とピッチングモーメント M (時計回りを正) は次式で与えられる。

$$L = -\frac{1}{2} \rho U^2 (2b) \frac{dC_L}{d\alpha} \left[\alpha + \frac{1}{U} \frac{\partial \tilde{\alpha}}{\partial t} + \frac{1}{U} \left(\frac{\dot{\gamma}}{4} (2b) - \dot{x}_0 \right) \frac{\partial \alpha}{\partial t} \right] \quad \text{----- (1)}$$

$$M = \frac{1}{2} \rho U^2 (2b)^2 \left[-\frac{(2b)\pi}{8U} \frac{\partial \alpha}{\partial t} + \left(\frac{x_0}{2b} - \frac{1}{4} \right) \frac{\partial C_L}{\partial \alpha} \left\{ \alpha + \frac{1}{U} \frac{\partial \tilde{\alpha}}{\partial t} + \frac{1}{U} \left(\frac{\dot{\gamma}}{4} (2b) - \dot{x}_0 \right) \frac{\partial \alpha}{\partial t} \right\} \right] \quad \text{----- (2)}$$

ただし上式において各記号は以下のとうりである。 b : 平板の半幅, x_0 : 回転の中心位置, α : 平板の中心軸におけるたわみ変位, $\tilde{\alpha}$: 傾き変位, ρ : 空気密度, U : 風速, C_L : 揚力係数, t : 時間, また、同様にして静的三分力試験、または不連続流理論による空気力係数を利用する空気力としては、鉛直運動を相対迎角に含めた $\alpha + \tilde{\alpha}/U$ の迎角をもつ平板として、回転運動は回転中心からの距離 x の位置における相対迎角を $-x\tilde{\alpha}/U$ とする平板の上の座標に対する関数とするので、これは平板の中心を頂点とする放物線となる曲面板のように考える。したがって、振動している平板の空気力を迎角 $\alpha_0 = \alpha + \tilde{\alpha}/U$ で置かれた平板に作用する静的な空気力と、平板中心から x の位置における勾配を $-x\tilde{\alpha}/U$ 、弦の長さを $2b$ とする放物線形の断面となる曲面板に作用する静的空気力の合力として求めることにする。

	α_1	α_2	α_3	α_4	α_5
b (m)	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15
m (kg/m)	0.4473	0.4473	0.4473	0.4473	0.4473
I (kg·m ² /m)	0.01631	0.01941	0.02401	0.03017	0.03540
δ_{x0}	0.0376	0.0391	0.0342	0.0391	0.0425
$\delta_{\alpha 0}$	0.0217	0.0284	0.0218	0.0237	0.0176
ω_1 (rad/s)	11.69	11.62	11.62	11.52	11.52
ω_2 (rad/s)	17.80	19.64	21.54	23.25	24.08
ω_1/ω_2	1.52	1.69	1.85	2.02	2.09
C_1	0.1399	0.1446	0.1265	0.1434	0.1558
ω_1^2	136.66	135.02	135.02	132.71	132.71
K_1	0.04192	0.04192	0.04192	0.04192	0.04192
C_2	0.1230	0.1775	0.1495	0.1775	0.1349
ω_2^2	316.04	385.73	463.97	540.56	579.85
K_2	0.3449	0.2898	0.2343	0.1864	0.1589

表-1. 実験データ (1/11ルズ数 $0.5 \times 10^5 \sim 2.0 \times 10^5$)

この場合の L と M は、平板の揚力係数とモーメント係数を C_L , C_M 曲面板のそれらを C_{La} , C_{Ma} とすれば、それぞれ次式のようになる。ただし、流体と構造物の運動との間の位相差は考慮していない。

$$L = -\frac{\rho U^2 (2b)}{2} (C_{Lf} + C_{La}), \quad M = \frac{\rho U^2 (2b)^2}{2} (C_{Mf} + C_{Ma}) \quad (3)$$

Ⅲ. アナログ・シミュレーションによるフラッター特性

基礎方程式は式(3)を利用すれば、次式のようになる

$$\ddot{\eta} + C_1 \dot{\eta} + \omega_1^2 \eta = -K_1 (C_{Lf} + C_{La}) \quad (4)$$

$$\ddot{\alpha} + C_2 \dot{\alpha} + \omega_2^2 \alpha = K_2 (C_{Mf} + C_{Ma}) \quad (5)$$

上式で、 $C_1 = C_d/m$, $C_2 = C_d/I$, $K_1 = \rho(2b)/2m$, $K_2 = \rho(2b)^2/2I$,
ただし、 m : 構造物の単位長当りの質量, I : 横座二次モーメント, C_d , C_M : たわみ振動および捩れ振動の減衰係数, ω_1, ω_2 : たわみ振動, 捩れ振動の固有円振動数。各空気力係数は、

$$C_{Lf} = f_1(\alpha_s), \quad C_{La} = f_2(\tau), \quad C_{Mf} = f_3(\alpha_s), \quad C_{Ma} = f_4(\tau)$$

$$\alpha_s = \alpha + \dot{\alpha}/U, \quad \tau = b\dot{\alpha}/U \quad (6)$$

のように表わされる α_s および τ に対する、ある関数で表わすことができる。したがって、ここで使用する三菱 MELCOM EA-7420 型のアナログ計算機に組込まれている時分割方式の関数発生器 2 台を利用して、それら関数の近似を得ることとする。

Ⅳ. 計算結果および考察

表-1 に与えたデータをもとに計算を行なった結果を図-1 に示した。図-2 は捩れ変位の倍振幅と換算風速 ($U/b\omega$) の関係 a_1, a_2, a_3 について示し、風洞実験との比較をした。 a はアナコンによる計算を、exp. は実験によるものと表わしており、同じ数字は同じモデルであることを示している。図-1 の a_1, a_2 の破線の部分は不安定な定常振動をしているが、 a_3, a_4, a_5 には不安定な定常振動は表われていない。しかし、いずれにしても小さな振幅の領域の計算には、アナログ計算機の演算電圧の関係で誤差が大となる可能性が含まれており、この領域の演算電圧の検討をしてみよう必要があると思われる。図-2 から、限界風速について、 a_1, a_5 は少し実験よりアナコンでの計算の結果が低くでているようであるが、かなりの精度で風洞実験との一致性がある。なお、紙面の関係で詳細な考察、式(6)の各空気力の関数形について、アナログ計算機のブロック線図について、および変動風についての計算結果等正記載できなかったが、それらについては、当日発表する予定である。

(1) Shiraiishi N.; Fundamental Investigation on Vibrational and Aerodynamic Characteristics of Long-spanned Suspension Bridge, Dissertation, Department of Civil Engineering Kyoto University. (1970).

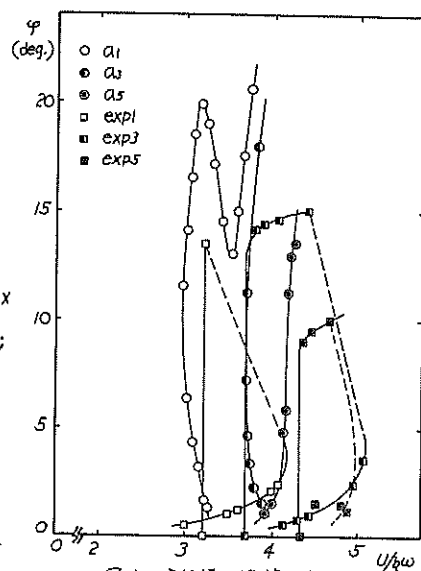


図-1. 倍振幅と換算風速の関係

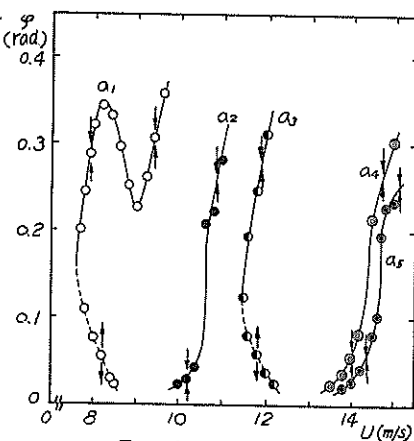


図-2. 倍振幅と風速の関係