

吊橋フラッターの限界風速に関する研究

三菱重工長崎研究所

笨口屨宏

坂田 弘

田中博喜

7

" 広島研究所

山本宏

西谷晴光

正 岡田秀昭

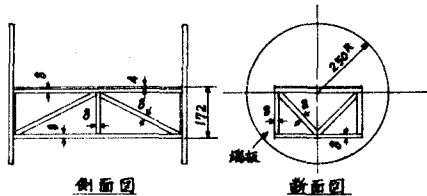
1. まえがき 吊橋の補剛桁に作用する非定常空気を計測し、その空気力による自励振動の計算を行つて吊橋のフラッター限界風速を求めた事については、平井教授からも指適しておられる。筆者のうち、笠口、坂田はこれを支障する方法を利用して吊橋の非定常空気力をとり出す事に成功し、先に支障いで報告した。その後筆者らは補剛桁に作用する風の迎角びの場合及び迎角を有する場合の二次元フラッター限界風速を求め、実験結果と対比した。更に三次元的な吊橋フラッター実験により前述の非定常空気力を用いて計算したものと対応付けをしたのでこれをまとめて概略報告する。

2. 非定常空気の測定方法及び二次元フラット実験

計測方法及び二次元フラッター実験の詳細についてはすでに文献1に発表したのを機略のみを記す

と以下の通りである。例えば、第1図に示す部分模型を製作し、模型を加振させて非定常空気を計測する。

実験は、上下振動と回転振動を別々に行わせ、その時の場力とモーメントを求めた。動的な空気力（非定常空気力）は変位との間に位相差を生ずる。従って、力の大きさと位相差の計測が必需になる。今、上下、回



第1図トラス型吊橋、部分模型

共振動時の場力、モーメントを夫々 L_R , M_R , M_R , M_R とすると上記の力は、位相差の概念を入れて

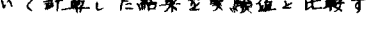
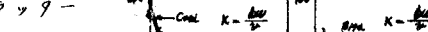
$$L_R = L_R + iL_R, \quad L_\alpha = L_\alpha + iL_\alpha, \quad M_R = M_R + iM_R, \quad M_\alpha = M_\alpha + iM_\alpha \quad (1)$$

但し変位と位相差の間は、 $\beta = \tan^{-1} \left(\frac{L_{AI}}{L_{AR}}, \frac{L_{AI}}{L_{AR}}, \frac{M_{AI}}{M_{AR}}, \frac{M_{AI}}{M_{AR}} \right)$ これらを次の関係式で表す

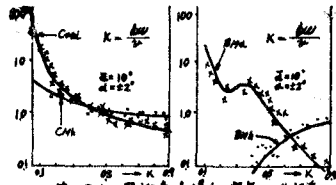
$$\text{元化子 } C_L = \frac{|L_L|}{\pi \rho b^2 \omega_0 \omega^2 S}, C_{L\alpha} = \frac{|L_\alpha|}{\pi \rho b^2 \alpha \omega_0 \omega^2 S}, C_{MA} = \frac{|M_L|}{\pi \rho b^2 \omega_0 \omega^2 S}, C_{M\alpha} = \frac{|M_\alpha|}{\pi \rho b^2 \alpha \omega_0 \omega^2 S} \quad (2)$$

ρ : 空気の密度, b : 模型の半巾, R_0 : 上下振動の振巾, d_0 : 回転振動の振巾, ω : 強制加振振動数
 L : 模型のスパン長. この簡次元量と各々の位相差角とを倒不すると式(2)の通りである. 非常低速

気力を用いて計算した結果を実験値と比較する為にはフラッター実験を行う。フラッター実験装置は右の図の通りである。実験模型はオI図のものと同じで、この模型を右図に示した支持金具で取り付けて上下と回転の固有振動数を与える9mmφの組合わせて支持し、風を通して空気力によるフラッター風速を求むる。

第2図 10×2.5cmの模型の空気力特性



第2圖 ト型迎角10°の場合の空力中心相違

3. フラッター計算及び部分模型による迎角 0° , 10° の場合の実験結果

フラッター計算式は周知の如く

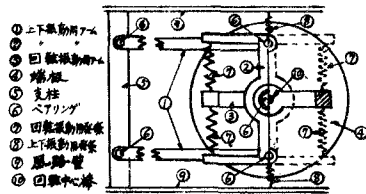
$$M_0 \ddot{h} + \frac{M_0 \omega_k^2 g_k}{\omega} \dot{h} + M_0 \omega_k^2 h = \pi \rho b^3 \omega^2 (C_{Lk} \frac{\dot{h}}{b} + C_{L\alpha} \alpha)$$

$$I \ddot{\alpha} + \frac{I \omega_a^2 g_a}{\omega} \dot{\alpha} + I \omega_a^2 \alpha = \pi \rho b^4 \omega^2 (C_{Mh} \frac{\ddot{h}}{b} + C_{Ma} \alpha)$$

但し M_0 : 単位長さ当りの質量, I : 単位長さ当りの回轉慣性率

ω_n, ω_a : 上下、回転の固有振動数, ω : フラッター振動数,

g_R, g_n : 上下, 回転の減衰係数。但し附加重量の項は慣性力の項



第3図 フラッタ登壇置(装置部のみ拡大)

に較べて小さいとし無視した。フラッター時の振動を定常運動と仮定すると $\dot{q} = \dot{q}_0 e^{i\omega t}$, $\alpha = \alpha_0 e^{i\omega t}$ となる。

リフラッター行列式は

$$\begin{vmatrix} \mu(1-\beta x_1) + C_{LA} & C_{L\alpha} \\ C_{MA} & \nu(1-x_2) + C_{M\alpha} \end{vmatrix} = 0 \quad (4)$$

ここで $\mu = \frac{M_0}{\pi \rho b^2}$, $\nu = \frac{I}{\pi \rho b^4}$, $\beta = (\frac{\omega_h}{\omega_a})^2$, $x_1 = (\frac{\omega}{\omega_a})^2(1+i g_a)$, $x_2 = (\frac{\omega}{\omega_a})^2(1+i g_a)$ 。(4)式を展開し、微小量を省略すれば x_2 のべき級数になる。そして係数は複素数で g_a (減衰係数), α (振動係数) の関数になっている。ここで空気力は g_a の関数で、非定常空気力の計算より求まる。 g_a と α は x_2 のみの関数となり、その g_a に対する x_2 が求まる。これをいくつかの g_a の値をグラフに書き、これよりフラッター風速 (V_{cr}) を求める。いわゆる U- α 法である。例を第4図に示す。

4. 三次元模型による吊橋フラッター実験

三次元フラッター計算は、3で導いたものと基本的には同じであり、ここでは橋軸方向の質量分布、幾何学的、空力的振動モードが付け加わる。非定常空気力は二次元実験で求めたものを使用する。但し空気力学的、力とモーメントは連成振動を生ずる前の振動の場合と同じと仮定して差しつかえない。吊橋の振動方程式から直交条件を導き、運動エネルギー (T), 歪エネルギー (V) 及び散逸函数 (D) を表示すると (5) 式のようになる。その際吊橋の振動モードは函数列の 2 項迄をとる事で充分である。normalize した振動モードを f_1, f_2, F_1, F_2 とする。

$$\begin{aligned} T &= \frac{M_1}{2} \dot{q}_1^2 + \frac{M_2}{2} \dot{q}_2^2 + \frac{I_1}{2} \dot{\alpha}_1^2 + \frac{I_2}{2} \dot{\alpha}_2^2 \\ V &= \frac{M_1}{2} \omega_{q1}^2 q_1^2 + \frac{M_2}{2} \omega_{q2}^2 q_2^2 + \frac{I_1}{2} \omega_{\alpha1}^2 \alpha_1^2 + \frac{I_2}{2} \omega_{\alpha2}^2 \alpha_2^2 \\ D &= \frac{M_1 \omega_{q1}^2 R_1^2 g_{q1}}{2\omega} + \frac{M_2 \omega_{q2}^2 R_2^2 g_{q2}}{2\omega} + \frac{I_1 \omega_{\alpha1}^2 R_{\alpha1}^2 g_{\alpha1}}{2\omega} + \frac{I_2 \omega_{\alpha2}^2 R_{\alpha2}^2 g_{\alpha2}}{2\omega} \end{aligned} \quad (5)$$

ここで $M_1 = \int m(x) f_1^2 dx$, $M_2 = \int m(x) f_2^2 dx$, $I_1 = \int I(x) F_1^2 dx$, $I_2 = \int I(x) F_2^2 dx$ 模型の振動特性のうち、減衰係数は、たわみ振動については自由減衰法により求めた。振り振動については、減衰が大きいのを模型を加振させておき振動を stop させてデーターを取り、これをくり返して最小自乗法により減衰率を決定した。模型は円筒の制約条件及び製作上の問題から、主至間のみを扱い、構造は変形化した。模型の寸法概略を第5図に示す。

5. 結 論

実験した各種の模型に対する計算結果をまとめると表のようになる。

この表より大略次の様な結論を得る。(1) 二次元実験による吊橋のフラッター限界風速と理論値は各場合ともかなりよく合っている。(2) 二次元、三次元の対応関係は迎角 $0^\circ, 10^\circ$ の場合とも、精度約 20% 程度である。

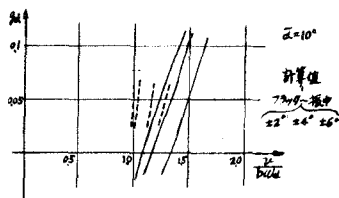
(3) 迎角のある月の吹く場合のフラッター限界風速は、補剛桁がトラス型式のもの、セパン型断面のものについて実施したが、照うがに stall flutter の現象を呈しており、迎角のない場合の限界風速に較べて大巾に低下する事が立証された。

参考文献; (1) 笠口、坂田、日本航空学会誌、第13巻、第133号

(2) F. Bleich, Proc. Amer. Soc. Civ. Vol 70, 1948

(3) Scanlan & Rosenbaum, Introduction to the Study of Aircraft Vibration & Flutter

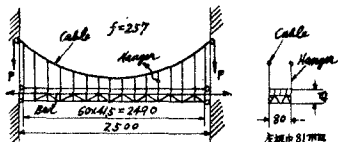
(4) 笠口、坂田、西谷、日本航空学会誌、第14巻、第146号 (掲載予定)



第4図 トラス型 2次元フラッター実験

表 各種実験結果と計算値の比

補剛桁	迎角	ω_h/ω_a	g_a	V_{cr}/V_{cr0}	比
トラス	0°	0.64	0.0170	5.80	1.13
	10°	0.70	0.0153	5.20	1.15
	20°	0.66	0.0246	5.93	1.14
	30°	0.75	0.0276	5.55	1.10
	40°	0.82	0.0211	4.30	0.92
	50°	0.59	0.0147	4.20	1.04
	60°	0.42	0.0139	5.00	1.03
	70°	0.41	0.0619	1.03	1.20
	80°	0.44	0.0260	2.57	0.97
	90°	0.68	0.0140	1.95	0.96
セパン	0°	0.79	0.0147	2.18	0.84
	10°	0.73	0.0660	3.15	1.09
	20°	0.51	0.0500	1.93	1.20
	30°	0.84	0.0402	5.25	1.00
	40°	0.41	0.0361	1.80	1.07
	50°	0.59	0.1192	2.68	1.15
トラス	0°	0.59	0.1192	2.68	1.15
	10°	0.49	0.0366	1.67	1.16



第5図 トラス型橋模型