

中央大学理工学部 正員 岡内 功
 東京大学大学院 学生員 ○ 田中 宏

1) 目的と内容

吊橋の風による自励振動の限界風速は常用のフロッター理論によって解析的に求めることができるが、この風速計算においては様々なパラメーターがあらわれる。1940年に T. Theodoresen 等は航空機翼のフロッター問題におけるパラメーター解析を発表している(文献[1])が、本報告はこの方法を吊橋の場合に応用し、吊橋諸元によるこれらのパラメーターが、限界風速に与えるどのような影響を与えるかを調べることによってフロッター問題に対する理解を深めようと試みたものである。ここでは更に、別項3)のように各種補剛桁断面に作用する非定常空気力の測定実験も行ない、その結果を利用することによって各種断面におけるこれらのパラメーターの影響を検討し、各断面の空力的特徴をつかもうと試みた。パラメーターの変動域はいくつかの実橋や試算設計例から近似的に設定し、結果は平板のフロッターに関する Theodoresen の理論値との比の形で与えることによって一般化しようと考えた。

2) 自励振動に影響する主なパラメーター

自励振動の限界風速を求める方程式は最終的には次のとおりになる。(文献[2]等)

$$\Delta_R = (1 - 4\zeta_q \zeta_g) X^2 + (AL_{qR} - 1 - 2\zeta_g AL_{qI}) X + (BM_{qR} - 1 - 2\zeta_g BM_{qI}) Z + \{(AL_{qR} - 1) X BM_{qR} - 1 - AL_{qI} BM_{qI} - ABD^2 (L_{qR} M_{qR} - L_{qI} M_{qI})\} = 0 \quad (1)$$

$$\Delta_I = 2(\zeta_q + \zeta_g) X^2 + \{2\zeta_g (AL_{qR} - 1) + AL_{qI}\} X + \{2\zeta_q (BM_{qR} - 1) + BM_{qI}\} Z + (AL_{qR} - 1) BM_{qI} + (BM_{qR} - 1) AL_{qI} - ABD^2 (L_{qR} M_{qI} + L_{qI} M_{qR}) = 0 \quad (2)$$

$$\text{ただし} \quad Z = \left(\frac{\omega_1}{\omega_2}\right)^2, \quad X = \left(\frac{\omega_2}{\omega_1}\right)^2, \quad D = \int_L \Phi_1 \Phi_2 dx$$

$$A = -\frac{\pi P b^2}{M}, \quad B = -\frac{\pi P b^2}{I}, \quad M = \int_L m(x) \Phi_1^2 dx, \quad I = \int_L I(x) \Phi_2^2 dx$$

ここで ω_1 : フロッター振動数, ω_1, ω_2 : 曲げ及捻り固有振動数
 Φ_1, Φ_2 : 曲げ及捻り振動モード, $2b$: 主構間隔

また空気力 L, M は換算振動数 $k = \omega b/v$ の関数である。平板の場合には Theodoresen 関数を用いて表すことができる。式(1)(2)よりパラメーターとしては各空気力成分 $F(k)$, 形状係数 A, B , 固有振動数 ω_1, ω_2 , 連成係数 D , 減衰係数 ζ_q, ζ_g が考えられ、若干の設計例からこれらの値を一応決定的に計算を行なった。

- (1) 空気力成分 $F(k)$ …… 空気力は Theodoresen 理論値 $\bar{F}(k)$ を用いたが、特にその各成分をもパラメーターとして $F(k)/\bar{F}(k) = \alpha$, $|\alpha| \leq 1$ とし、ある成分で α を変えるときは他の成分で $\alpha = 1$ とした。
- (2) 形状係数 A, B …… $B/A = 2.5$ と仮定し、 $-0.05 \leq A \leq -0.02$ とした。ここで更に $\mu = -1/A$ とおけば「密度比」であらわれ、 $20 \leq \mu \leq 50$ となる。
- (3) 固有振動数 ω_1, ω_2 …… X が一定なら限界風速 V_0 は ω_1 に比例するが、 V_0 と同一の ω_1 を用いた場合の基準限界風速 V_{00} との比は ω_1 に独立である。ここでは $1.0 < \omega/\omega_1 \leq 3.0$ を考えた。
- (4) 連成係数 D …… 曲げ及捻りの振動モードが同じなら $D = 1.0$ となるが、現実には少し異なるから D も低下すると考えらるゝので、ここでは $0.8 \leq D \leq 1.0$ とした。
- (5) 減衰係数 ζ_q, ζ_g …… 無減衰 $\zeta_q = \zeta_g = 0$ 及び「減衰の大きい例」として $\zeta_q = \zeta_g = 0.015$ を考えた。

結果は Theodorsen 空気力を用いたある基準状態に対する風速比で示した。図-1はその一例である。

ここで注意すべきことは、あるパラメーターの増減は他のパラメーターの増減と独立とは限らないという点である。しかし各パラメーターのもつ定性的な傾向を知る為の紙上の試みとしてあるものを変化させ、他をすべて一定にしておくことも可能であり、また無意義ではないと考える。但し、実際に吊橋の断面算定に応用する場合には、このことを充分に考慮しなければならない。

3) 各種断面におけるパラメーターの影響

非定常空気力測定実験はトラス断面、H型断面、流線型断面等について行なわれた(文献[2])が、これらの結果を参照すると $F(k)$ は Theodorsen 空気力 $\bar{F}(k)$ を用いて近似的に

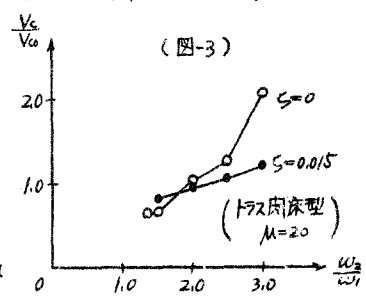
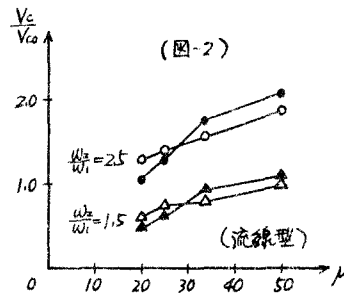
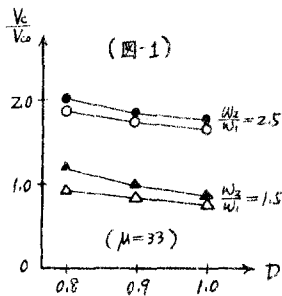
$$F(k) = \alpha \bar{F}(k + \beta) + \gamma \quad (3)$$

とあらわすことができる。 α, β, γ としわめかれは右表に例示したような数値と考えた。

この空気力を用いて更にパラメーター $\mu, \omega_2/\omega_1, D, \zeta$ を変化させ計算を試みたが、ここでは結果は、空気力 $F(k)$ を用いた場合との限界風速比で示した。図-2, 3 はその例である。

	L_{qR}	L_{qI}	M_{qR}	M_{qI}	L_{pR}	L_{pI}	M_{pR}	M_{pI}
α	1.0	1.0	-1.0	-1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
β	-0.2	0	-0.35	0.4	0	-0.2	0	0
γ	-2.0	0	0.3	1.6	0	3.0	1.0	0.6

(H型 ($b/2b = 0.1$) の場合)



4) 考察

- (1) 最も大きな影響をもつ空気力成分は M_{qR} であって、これが小さくなると V_c は急激に上昇する。
- (2) D が低下すると V_c は上昇するがその変化は小さく、むしろ ω_2/ω_1 の方が影響は大きい。
- (3) 平板に近い断面では V_c は μ と共に大きく上昇するが、空気流の剥離が大きい断面になると $\mu = 25$ 附近に V_c の極小値があらわれ、 μ の大きい範囲での影響はへる。
- (4) 剥離が大きい断面では V_c は全般的に小さく、H型 ($b/2b = 0.25$) では平板の半分程になる。
- (5) ω_2/ω_1 の上昇つづけて V_c は上昇する。但し剥離が大きく減衰が大きいと、その影響は小さい。
- (6) 構造減衰係数の影響については、場合におて異なり一概に言えない。

これらの結論をもとにした吊橋の耐風設計に対する指針については、現在なお考察中である。おわりに、計算にあつて御尽力頂いた中央大学助手、根本紘一氏に心から感謝する次第である。

文献 [1] Theodorsen, T. and Garrick, I.E.; Mechanism of Flutter, NACA TR. 685, p.101-146 (1940)

[2] Bleich, F.; Dynamic Instability of Truss-Stiffened Suspension Bridges Under Wind Action, Proc. ASCE, Vol. 49 (1948)

[3] 伊藤孝, 下瀬健雄, 三浦尚, 田中宏; 橋げた断面に作用する動的空気力について, 土木学会第24回年次学術講演会 (1966)