

吊橋断面の2自由度フラッタにおける振動数比の影響 および Selberg の式の検討

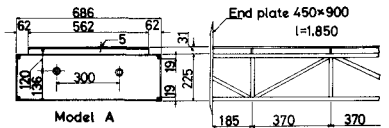
九州大学 応用力学研究所 正員 中村泰治, 同工学部 学生員 吉村 健

1. まえがき

曲げ-振リ2自由度を有する吊橋断面に発生するフラッタは、発生機構の違いにより本質的に2自由度フラッタ型（いわゆる曲げ-振リフラッタ型）、本質的に振リ1自由度フラッタ型およびこれら両者の中間型の3つに分類されることを論文⁽¹⁾に述べた。本報告では、吊橋架設段階において、桁の曲げ-振リ振動数比の変化に伴うフラッタ特性の変化を明らかにするために、上記3つの型に属する吊橋断面について、曲げ-振リ振動数比を種々変化させた場合のフラッタ実験を行った結果を報告する。これと別に、いわゆる曲げ-振リフラッタ型に属する吊橋断面において、フラッタ發展風速傍で曲げ分枝と振リ分枝の振動数が一致するといわれており、これをフラッタの型を判別するために用いられることもある。ここでは、このことについても実験および数値計算により検討する。

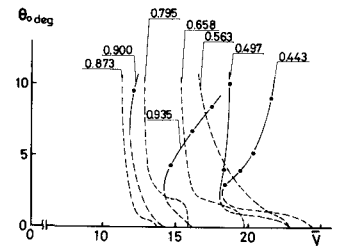
2. 曲げ-振リ振動数比の影響

図-1に示す単純化された吊橋断面の2次元模型を用いて風洞実験を行った。系の質量および慣性モーメントは、 $2\frac{M}{g} = 226$, $2\frac{I}{g} = 166$ 。(M, I: 単位長さあたりの質量および慣性モーメント, g: 重力加速度) 曲げ-振リの固有振動数(f_0, f_0)の比を $r = f_0/f_0 = 0.5 \sim 1.2$ に変化させた場合のAおよびC模型の応答の様子をそれぞれ図-2, 3に示す。ただし、AおよびC模型はそれぞれ本質的に2自由度および振リ1自由度フラッタ型に属するものであり、図においては風速を $\bar{V} = V/V_0$ まで無次元化し、応答は振リ振動振幅のみを示した。これらの図より、フラッタ發展無次元風速 $\bar{V}$ を縦軸に、 r を横軸にプロットしたものが図-4である。図により次のことがわかる。A模型における $\bar{V}$ は、 r が1に近づくにつれて低下するが、 r が1の近傍では逆に急激に高くなる。 r の範囲ではフラッタは発生しない。これに対して、C模型における $\bar{V}$ は、 $r < 1$ の範囲ではほぼ一定である。また、B模型（中間型に属する）の場合には、A模型と同様の傾向を示すが、全体的にA模型の場合よりも $\bar{V}$ が低いことが特徴である。A模型の実験値を、Theodoresen 関数を用いた近似法による計算値と比較すると図-5aのように付る。模型の減衰率 δ は、曲げおよび振リモードについて0.02~0.03であるから、実験値と計算値はよく一致している。これにあわせて、A模型を本質的に2自由度フラッタ型に属するといえる。なお、質量比 r の種々変化した場合について、上述同様の計算を行った結果、いずれの場合にも r が1に近づくにつれて $\bar{V}$ が低下するといえ、おおよそ r の範囲においてはフラッタは発生しないといえる。

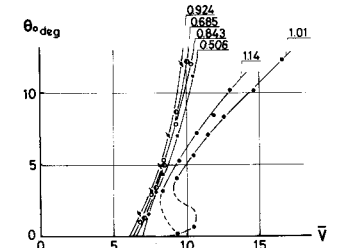


Model A Model B Model C

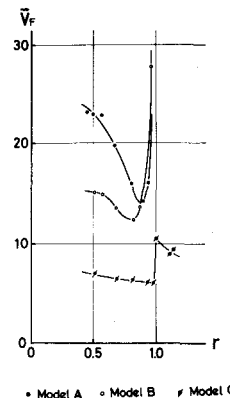
(図-1)



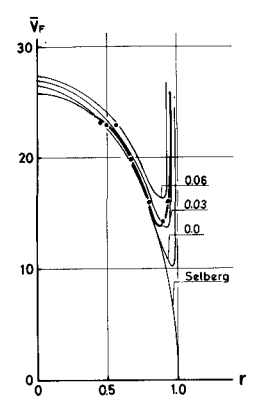
(図-2)



(図-3)

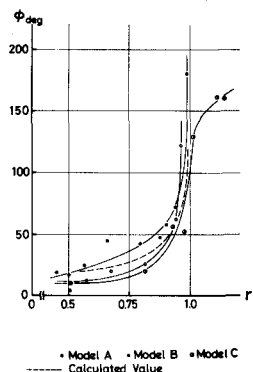


(図-4a)

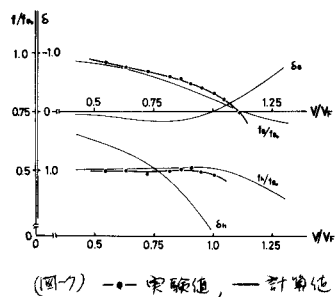


(図-5)

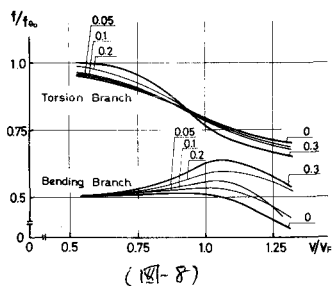
$V > 1$ の範囲においてはフラッターが起まらないことは、重心がある弾性軸が断面中心に付くことによる大きな違いである。このように本質的に2自由度フラッター型である中間型に属する吊橋断面において、振動数比 r が1に近づくにつれて V_F が低下する現象は、吊橋架設段階で充分注意されるべきである。図5には Selberg の経験式も示した。文献⁽²⁾に述べられているように、同式は $r < 0.9$ の範囲では厳密解と良く一致するが、 $0.9 < r < 1$ では余りかけは付した値を示す。図-6に3つの模型の V_F 近傍における曲げと振り振動間の位相差を示す ($A = a_0 e^{i\omega t}$, $B = b_0 e^{i(\omega t - \phi)}$)。いずれの場合にも、 r が1に近づくにつれて ϕ が増大するのが注目される。図-3あるいは4にみたモデルの応答で、 $V > 1$ の範囲においては $r < 1$ の場合に比べて応答に異質がみられたのは、この大きな位相差のためである。本質的に振り1自由度フラッター型に属するものでも、 $V > 1$ においては ϕ が大きくなり、応答に与える曲げモードの寄与が無視できなくなることは興味深い。なお、このような位相差の傾向は、以下法による計算結果においても同様にみられた(図-6)。



(図-6)



(図-7) —●— 実験値, — 計算値



(図-8)

3. 曲げ分枝と振り分枝の振動数の変化

フラッター起振速度に至るまでの曲げおよび振り分枝の振動数の変化を示す1つの例として、A型の $r = 0.5$ における実験結果を図-7に示す。2つの振動数のうち、振り分枝の振動数は1に近づくにつれて低下するが、曲げ分枝の方はほぼ一定である。文献⁽³⁾の手法で計算した2つの分枝の変化の概略も同図に示したが、実験値と計算値は良く一致している。この場合、振り分枝の対数減衰率 δ_0 が V_F を境にして正から負に転じるから、振り分枝がフラッターを起しているわけである。この断面では2つの振動数は一致しないが、重心位置以外のパラメータを上げると、重心位置 α_0 ($= \delta_0 / \alpha_1$, δ_0 : 弾性軸に属する慣性1次モーメント) を0から0.3まで変化させてやれば、(図-8に示すように)2つの振動数は近傍で次第に接近寄ってくる。このように現象は、慣性パラメータを変化させた場合にも同様にみられ、吊橋断面のように重心がある弾性軸が断面中心にある場合には、2つの振動数は一致しないことがわかった。従って、吊橋断面の場合には、「振動数の一致」を曲げ-振りフラッター型の判別に用いることはできないと結論される。

4. 結論

本研究により次のことがわかった。(1). 本質的に2自由度フラッター型に属する吊橋断面においては、 V_F は曲げ-振り振動数比 r が1に近づくにつれて低下するが、 $r = 1$ の近傍では逆に急激に高くなり、 $V > 1$ の範囲ではフラッターは起らない。中間型の場合にもこれと同様の傾向を示すが、全体的に低くなる傾向が特徴である。このような現象は、吊橋架設段階で充分に注意されるべきである。他方、本質的に振り1自由度フラッター型に属するものは、 $r < 1$ の範囲で V_F はほぼ一定である。これら3つの型の断面に共通な現象は、 r が1に近づくにつれて曲げ-振り振動間の位相差が増大することである。(2). 本質的に2自由度フラッター型に属する吊橋断面では、曲げ分枝と振り分枝の振動数の一致がみられない。従って、これをフラッターの型の判別に用いることはできない。本研究を行うにあたって、実験については深所健吾、杉谷豊一郎両氏の協力を得たことを記し、謝意を示す。

参考文献 (1). 中村, 吉村: 吊橋断面の2自由度フラッターについて, 土木学会論文報告集, 226号, 1974. 6

(2). Frandsen: Proc. Int. Symp. Suspension Bridges, Lisbon, 1966

(3). Goland, Luke: A Study of Bending-Torsion Aerodynamic Modes for Aircraft Wings, J. Aero. Sci. Vol. 16, 1949