

中部電力	正員	鈴木 英也
東京大学工学部	正員	伊藤 学
東京大学工学部	正員	藤野 陽三

1. まえがき 長大吊橋における自励振動は、風速と迎角に依存する負減衰効果によって発生するもので、現行の本州四国連絡橋耐風設計基準でも、自励振動の発生条件についてある一定の範囲を定めている。現在この基準に対しては二次元模型を用いた一様気流中での風洞実験により安定性照査を行っているが、自然風の持つ時間的、空間的変動性を考慮することによって特に長大吊橋にたいして現行の基準は安全側にあることが指摘されている¹⁾。また、原設計断面が空気力学的に安定な形状であっても、防音対策設備を設置することによって特定の迎角に対してだけ不安定となることがしばしばおこる。このような桁断面は現行の基準では許されていないのが現状である。ところが、ある瞬間において負減衰を生じる特定の風が吹く確率は、橋軸方向の多地点にわたって平均すれば著しく小さいことを考えると、このような断面でも自然風のもとでは十分安全であることが推測される。そのため、現行の風速-迎角領域を規定するだけの照査法では、自然風のもとでの実橋の安定性を判断するには不十分である。本研究では、桁断面の空力特性が種々の要因に対して非線形であることと、自然風の特性和を考慮したフラッターの応答解析法を確率し、これを用いて現行の耐風設計基準を見直し、より合理的な照査法を数値的に検討した。

2. 自然風のもとでの実橋のフラッター振動 吊橋のねじれフラッター振動を、第 n 次固有振動モードで発生し、連成振動ではないと仮定すると、モード解析法により運動方程式は次式で与えられる。

$$\ddot{\theta} + \frac{\omega}{\pi} \int_0^l \delta(x, t) \phi_n^2(x) dx \cdot \dot{\theta} + \omega_n^2 \theta = \varepsilon(t) \quad \text{----- (1)}$$

ここに θ : 基準座標, ω_n : 固有振動数, l : スパン長, δ : 空力減衰率と構造減衰率の和, ϕ_n : 第 n 次固有振動モード $\left\{ \left(\frac{z}{l} \right)^{1/2} \sin \left(\frac{n\pi x}{l} \right) \right\}$, ε : 定常振幅 0.1° を与える微妙な擾乱である。

減衰率は、橋軸方向の各点における風速、迎角、およびフラッター振幅に依存しており、それぞれ非線形に決定される。そのため全橋としての減衰率を算出するためには、橋軸方向の各点において風速、迎角を時系列としてシミュレートし、それから求まる減衰率を全橋にわたって積分する必要がある。そこで、岩谷²⁾らの手法を用いて与えられたパワースペクトルとコヒーレンスを空間構造として持つような風速、迎角変動を、20m間隔に100地点にわたり時系列としてシミュレートした。(ただし、周期10秒以下の成分はカットした。) こうして部分模型実験から得られる風速-振幅-減衰率の結果を使用することによって、自然風のもとでの実橋のねじれ1自由度フラッターの応答解析が可能となる。なお、ここでは計算上減衰率を3つのタイプに仮定し、図-1, (a) (b) (c) のように設定した。例えば (b) のタイプにおいて $\alpha(x, t) > 0$ の範囲の減衰率は、係数 a , b , c , 応答振幅 ϕ を用いて次式のようにおいた。

$$\delta = a \left[1 - \nabla(x, t) / \nabla_{cr} \right] - b \cdot \alpha(x, t) + c \phi (\phi - 1) \quad \{ \alpha(x, t) > 0 \} \quad \text{----- (2)}$$

(1) 式を線形加速度法を用いてねじれ振動の時刻歴応答を求めた。シミュレーションは継続時間を10分間として10回行って最大応答変位に注目して考察した。

3. 安定性照査法に関する試算 自然風の発生頻度を考慮した安定性照査法の1例として、図-2, (a) (b) に示す方法を設定した。まず従来通り二次元模型風洞実験からフラッターを発生する風速-迎角領域を求める。さらに迎角の発生頻度を考慮した重み関数 (f_i) (ここでは正規分布の累積確率を使用) を、フラッターの発生する面積 (S_i) に乗じて $\sum S_i \cdot f_i$ のように総和を求める。つまり、発生する迎角変動全体の中で、負減衰を生じさせるような迎角の発生割合が考慮されることになる。この値を、安定・不安定の判定基準とする

わけだが、理論的には基準値を定めることはできないため、この基準値と応答結果とを3種の空力減衰を使用して数値計算を行い、結果を図-3、(a) (b) (c)に示した。3つの空力減衰モデルのいずれにおいても、基準値として 200(m・deg)前後の点において応答振幅が1°となっている。現行の本四基準を満たす桁断面をこの方法で試算してみると、およそ 100(m・deg)以下の断面を安全と判断していることを考えると、かなり許容範囲を広くすることが可能である。結局、この簡単な手法でも自然風の特性を反映した安定性照査を行うことの可能性が認められる。

4.まとめ 自然風のもとでの吊橋のねじれフラッター応答解析を行うことが可能となった。また、今後更に数値的検討を蓄積していく必要はあるが、より合理的なフラッター安定性照査法として簡単なモデルを試案することができた。

参考文献 1) 八木茂樹・伊藤 学・藤野陽三： 長大吊橋の耐風安定性に及ぼす風向変動の影響に関するシミュレーション，第39回年講概要集，1984 2) 岩谷祥美：任意のパワースペクトルとクロススペクトルを持つ多次元の風速変動のシミュレーション，日本風工学研究会誌，第11号，1982

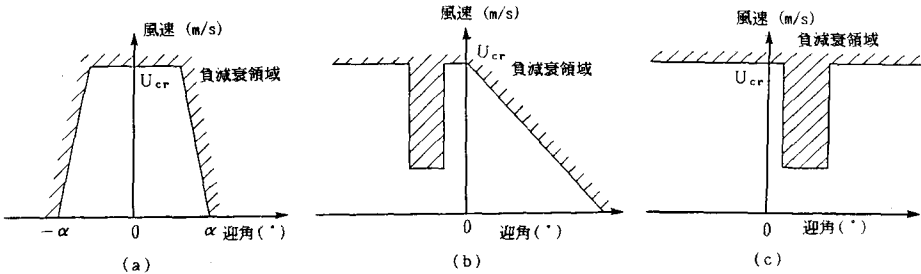


図-1 空力特性モデル

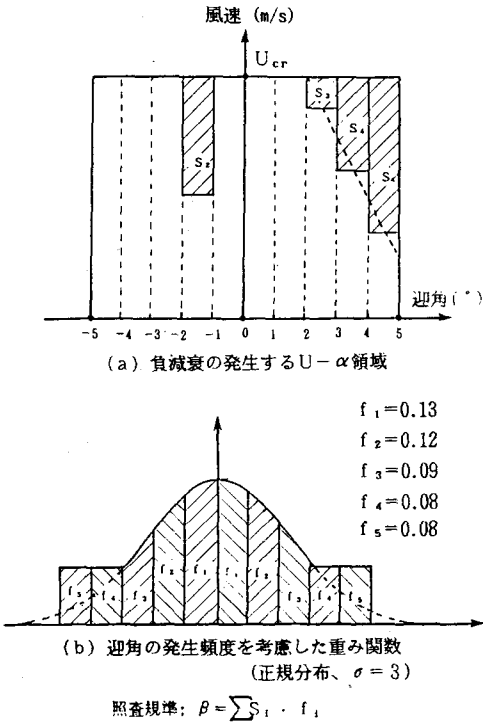


図-2 フラッター照査法のモデル図

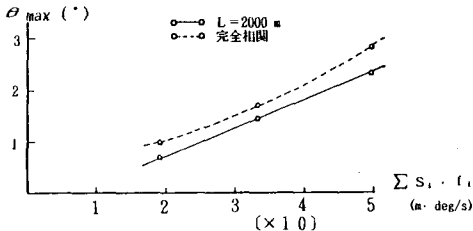


図-3 (a) 照査基準値と応答振幅 (モデル (a))

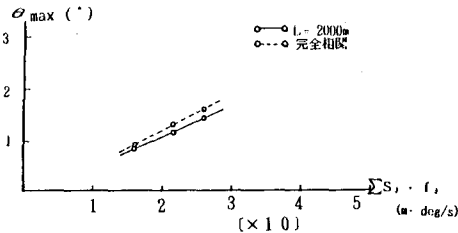


図-3 (b) 照査基準値と応答振幅 (モデル (b))

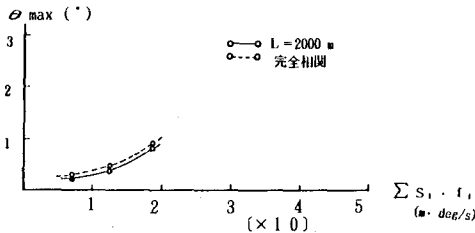


図-3 (c) 照査基準値と応答振幅 (モデル (c))