

東京大学 正員 宮田利雄  
佐藤鉄工 正員 ○勝俣 徹  
東京大学 正員 伊藤 学

1. まえがき 従来、長径向吊橋の耐風安定性について多くの検討がなされてきたが、計画される吊橋のなかには、架設地点周囲の地形の効果による、気流の傾斜角分布に特異性がある場合とか、吊橋造部の断面形状が橋軸に沿って異なり、空力特性が変化する場合があって、耐風安定性、すなわち揺れフラッターの発生に対するこれらの効果を検証する必要が考えられた。ここではこの問題に関する実験的、理論的検討を報告するものである。

2. 吊橋系の応答解析 いわゆる部分模型から求められた空気力(係数)を、振動振幅の多項式により表現し、この二次的な空気力を、固有な振動波形で振動する三次元系としての吊橋全体系に対しストリップ理論の仮定のもとに適用し、その全体系の空力減衰を算定することで議論を進めることにした。このとき (i) 空気力は揺れ変位速度比例成分(空力減衰項に相当)のみを考慮する。(ii) 空気力の揺れ変位速度比例成分マトリックスは非減衰振動系のモーダル・マトリックスにより近似的に対角化されうとする。(iii) 構造減衰(無風時の空気力も含む)の振幅依存性を考慮する。以上の前提のもとに、構造系を質点系に置き換え、揺れフラッターの応答解析を行なった。以上のように考えると、橋軸に沿って空力特性が異なる二種類の断面形の吊橋造部が図-1のように配置されている場合、全体系の空力減衰を減衰定数の形で示すと、つぎのようになる。

$$2\zeta_1\omega_1 = \frac{\rho B^2 U^2}{2\Theta\omega_1} \left\{ \sum_{i=1}^{n-1} \frac{\phi_i^2 (d_i + d_{i+1})/2}{\rho_{0i}} C_{HI}^* + \sum_{i=n}^N \frac{\phi_i^2 (d_i + d_{i+1})/2}{\rho_{0i}} C_{HI}^* + \sum_{i=j+1}^N \frac{\phi_i^2 (d_i + d_{i+1})/2}{\rho_{0i}} C_{HI} \right\} \dots (1)$$

ここに、 $\zeta_1$ : 空力減衰定数、 $\omega_1$ : 固有円振動数、 $\rho$ : 空気密度、 $B$ : 断面代表長、 $U$ : 風速、 $\Theta$ : 極慣性モーメント、 $\phi_i$ : 規準振動波形ベクトルの要素、 $d_i$ : 格間長、 $\rho_{0i}$ : 格点 $i$ の振動振幅、 $C_{HI}$ ,  $C_{HI}^*$ : 異なる断面形のそれぞれに対する空力係数 この式から、ある風速下のある振幅について、 $\zeta_1$ を計算することができ、これに対応する振幅での構造減衰定数 $\zeta_0$ を加えることにより、全体系の減衰を計算することができる。

ところで、空気力係数  $C_{HI}$ ,  $C_{HI}^*$  が振幅に対しほぼ線形な場合、あるいは、振幅を微小範囲に限り線形とみなせる場合には、その第一項以外を無視すると、 $C_{HI} = C_1 \rho_{0i}$ ,  $C_{HI}^* = C_1^* \rho_{0i}$  となり、これを式(1)に代入して、

$$2\zeta_1\omega_1 = A \{ C_1(1-R) + C_1^*R \} \dots (2)$$

ここに、

$$A = \frac{\rho B^2 U^2}{2\Theta\omega_1} \sum_{i=1}^n \phi_i^2 (d_i + d_{i+1})/2$$

$$R = \frac{\sum_{i=1}^{n-1} \phi_i^2 (d_i + d_{i+1})/2}{\sum_{i=1}^n \phi_i^2 (d_i + d_{i+1})/2} \quad (0 \leq R \leq 1)$$

のように書くことができる。この式において、パラメーター $R$ は全体系の挙動を評価する1つの量と見る事ができる。 $\zeta_1$ は $R$ に比例し、また、ふたつの断面形の配置方法とは無関係に、 $\zeta_1$ は $R$ により定まることが分かる。計算結果の一例を図-2に実験結果とともに $U$ - $A$ - $\zeta$ 曲線にして示す。一部を除き、両者は比較的良好一致がみられている。

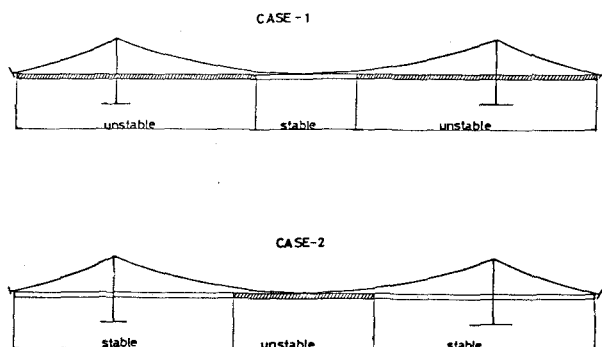


図-1 実験ケース

### 3. 全橋模型実験

空力特性の異なる二種類の断面形状として、揺れフラッターの発振しない安定な断面(HY)と、発振する不安定な断面(SHY)を選び、吊橋全体模型について、図-1に示すような断面配置を想定し、両者の占める長さ比を変化させた。表-1に、実験ケースと各断面形の長さ比、およびそのときのRの値を示す。図-3には、CASE-1, 2を比較した実験結果を示す。また、図-4には、実験結果をRに対しプロットしてある。

### 4. むすび

以上の検討結果よりつぎのことが結論される。(i) フラッター発振は安定な断面の部分が增加すると上昇する傾向にある。(ii) 全体系の空力特性はパラメーターRと比例関係にあり、断面形の配置とは無関係で、Rによって決まる。(iii) ここで対象とした吊橋系、選定した断面形の場合、全体系の空力特性は橋の中央部の全長の30%程度の部分の断面形の空力特性により決まる。(iv) この検討において、構造減衰の振幅に対する依存性を考慮しておく必要がある。本報告における検討は、揺れ1自由度のフラッターが典型的に発振する場合について行なったものであるが、実際のフラッターには鉛直曲げ振動の効果が現われることもあり、ここで示した結果がすべての場合にあてはまるとは言い切れない。この問題とともに、さらに考えるべき事柄として、本来二次元的な部分模型による空気を三次元構造系としての吊橋全体系に適用するときのストリップ理論の仮定の是非、および自然風のもつ乱れの変動性の効果が挙げられる。後者の乱れの効果については、おおむね一様流の場合の結果と大差がないとの予備的な実験結果を得ている。

| 実験ケース    | SL (R之比) | R (HYの長さ比) |
|----------|----------|------------|
| H Y      | 1.0      | 1.0        |
| H Y-8    | 0.07     | 0.24       |
| H Y-16   | 0.14     | 0.46       |
| H Y-24   | 0.21     | 0.65       |
| H Y-32   | 0.28     | 0.79       |
| S H Y    | 0.00     | 0.00       |
| S H Y-8  | 0.93     | 0.76       |
| S H Y-16 | 0.86     | 0.54       |
| S H Y-24 | 0.79     | 0.35       |
| S H Y-32 | 0.72     | 0.21       |

表-1 実験ケースおよび関連諸量

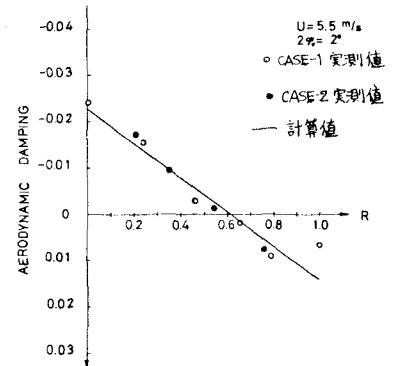


図-4 空力減衰とRの関係

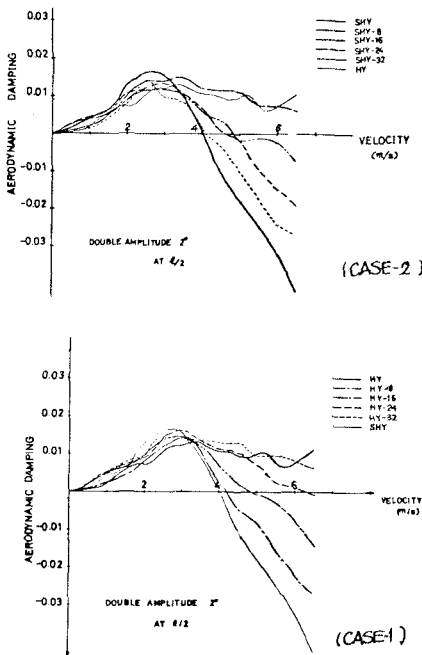


図-3 CASE-1, 2の実験結果

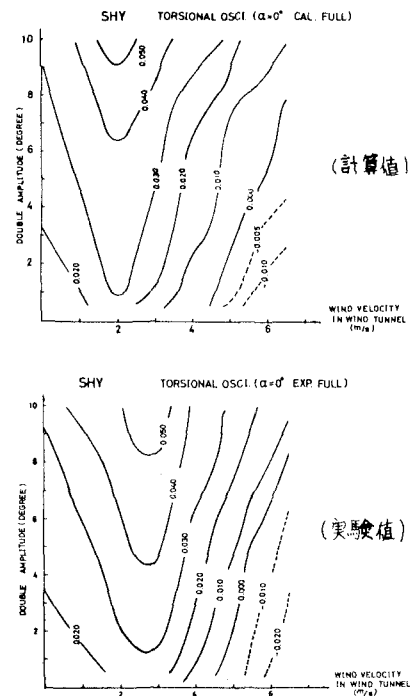


図-2 実験および計算によるU-A-σ曲線