

川崎重工業(株) 正員 小川一志

川崎重工業(株) 正員 酒井洋典

川崎重工業(株) 正員 松田一俊

1. まえがき 風の作用を受ける構造物の耐風性において、構造物の空力減衰は構造物自身の質量によって大きく左右される。そのため、模型振動実験では模型質量を相似則の所要値に設定しなければならないが、模型質量の設定誤差がどの程度実験結果に影響を与えるのか明確になっていないといえず、実験結果の補正法についても不明確なままとなっている。また、振動1自由度のときの相似則として質量減衰パラメータ $\frac{m\delta_h}{\rho D^2}$ を用いる場合が多いが、このことは質量 m と構造減衰 δ_h を耐風上等価な要因として扱うことになる。しかしながら質量 m と構造減衰 δ_h は構造物の耐風性(空力減衰)に対して異なる作用を及ぼすことが推定され、質量減衰パラメータに対する考え方を整理する必要がある。以上の観点から、本報告では空力減衰と質量の関係を明らかにする。

2. 理論的検討 たわみ1自由度振動のとき、動的空気力の影響による振動数の変化を近似的に無視できるものとする。質量パラメータと対数減衰率の関係は次式で与えられる。¹⁾

$$\mu[\delta_z - \delta_h] = -\pi L_{hi} \quad (1)$$

ただし μ : 質量パラメータ ($= m/\pi \rho b^2$), m : 模型質量, b : 弦長の $1/2$, L_{hi} : 動的空気力係数の虚数部, δ_z : たわみ振動の対数減衰率(構造減衰+空力減衰), δ_h : 構造減衰

いま、動的空気力係数 L_{hi} は模型の幾何学的形状、換算風速、迎角および気流特性の関数であり、振動条件(質量、構造減衰)の影響は微小で無視できるとするとき、式(1)は振動条件の変化に対して次式のように扱うことができる。

$$\mu \delta_{za} = \text{const} \quad (2) \quad \text{ただし } \delta_{za};$$

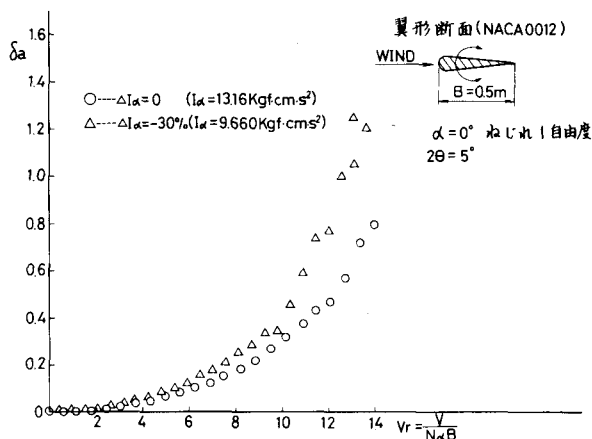
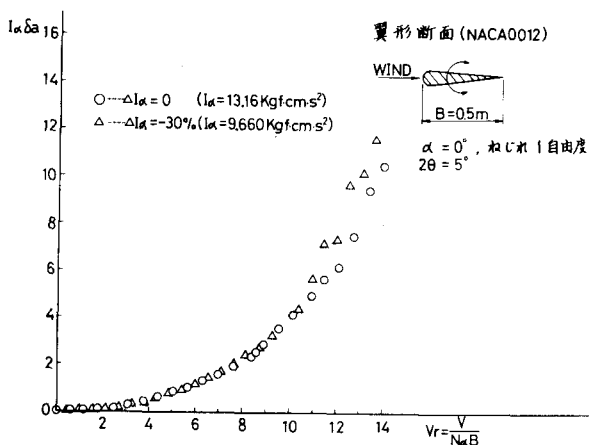
たわみ1自由度振動の空力減衰、 $\mu = m/\pi \rho b^2$

$$\nu \delta_{\theta a} = \text{const} \quad (3) \quad \text{ただし } \delta_{\theta a};$$

ねじれ1自由度振動の空力減衰、 $\nu = I_\alpha/\pi \rho b^4$

式(2)または(3)が成立するとき、空力減衰は質量または極慣性モーメントと反比例の関係にあるといえる。

3. 実験結果 模型の空力減衰としては自由振動にて計測した対数減衰率と構造減衰の差を考える。²⁾ 翼形模型(NACA0012)のねじれ1自由度振動に対する空力減衰と換算風速の関係を図1に示す。図2は空力減衰 δ_a と極慣性モーメント I_α の積 $I_\alpha \delta_a$ の形にして、換算風速 V_r との関係を図示したものである。 $\Delta I_\alpha = 0$ (○印) と $\Delta I_\alpha = -30\%$ (△印) は一つの曲線上にのり、空力減衰 δ_a と極慣性モーメ

図1 翼形模型の δ_a と V_r の関係図2 翼形模型の $I_\alpha \delta_a$ と V_r の関係

ント I_{α} は反比例の関係にあるとみなせる。図3は、 $I_{\alpha}\delta_{\alpha}$ たわみ、ねじれ2自由度のときの翼形模型のねじれ空力減衰 δ_{α} を極慣性モーメント I_{α} との積 $I_{\alpha}\delta_{\alpha}$ にして、換算風速 V_r との関係を整理したものである。換算風速が8以上になると極慣性モーメントの変化による影響を受けているが、これは振動自由度がたわみ、ねじれ2自由度であることに起因すると思われる。矩形模型(1:2)のたわみ振動に対する空力減衰 δ_{α} と重量 W の積 $W\delta_{\alpha}$ を換算風速 V_r との関係で図示したのが図4である。翼形模型のねじれ振動と同様に $\Delta W=0$ (○印) と $\Delta W=20\%$ (△印) は一つの曲線上にまとまり、重量 W (すなわち質量 m) は空力減衰 δ_{α} と反比例の関係にある。一方、図5は構造減衰が空力減衰に与える影響を調べるために構造減衰を変化させて、空力減衰 δ_{α} と換算風速 V_r の関係をプロットしてみたものである。図5より明らかなように構造減衰の大小によって空力減衰の受ける影響は無視できるものと考えられる。

4. 考察 すでに述べたように、空力減衰は質量または極慣性モーメントと反比例の関係にある。他方、図5で確認したように、構造減衰の変化は空力減衰に影響を与えずに、そのまま振動系の対数減衰率に加算される。すなわち、質量パラメータと構造減衰が構造物の耐風性に与える影響は本質的に異なっている。さて、質量減衰パラメータ $\frac{m\delta_h}{\rho D^2}$ を考えると、このパラメータは渦励振の最大応答振幅を整理するのによく使われる。振動系がたわみ定常振動しているとき、構造減衰 δ_h と空力減衰 δ_{α} の和は零となる。このとき

$$\mu\delta_{za} = -\mu\delta_h = -\frac{1}{\pi} \left(\frac{m\delta_h}{\rho D^2} \right) = \text{const} \quad (4)$$

すなわち、定常振動の場合に限定すれば、式(2)の $\mu\delta_{za}$ と質量減衰パラメータ $\frac{m\delta_h}{\rho D^2}$ は耐風上等しく扱えるが、減衰がある場合には、質量減衰パラメータの適用は難しくなり、式(2)の関係で考える必要がある。次に、模型振動実験(たわみ1自由度振動)において質量パラメータ μ に設定誤差 $\Delta\mu$ があるとしたとき、たわみ空力減衰の補正式は、式(2)より次のようになる。

$$\Delta\delta_{za} = -\frac{\Delta\mu}{\mu} (\delta_{za} + \Delta\delta_{za}) \quad (5)$$

ただし、 μ ; 相似則より定まる所要質量パラメータ, $(\delta_{za} + \Delta\delta_{za})$; 計測されたたわみ空力減衰
(参考文献)

- 1) 白石・小川 ; 非線形動的空気力を考慮した吊橋の耐風応答解析に関する一考察, 土木学会論文報告集, 第244号, 1975
- 2) 松田・小川・酒井 ; 無風時の空力減衰に関する一考察, 土木学会年次学術講演会, I部, 1983

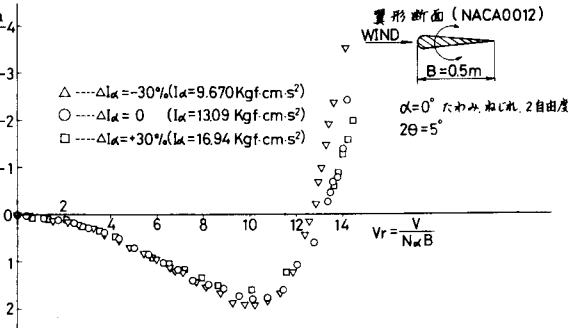


図3 翼形模型の $I_{\alpha}\delta_{\alpha}$ と V_r の関係

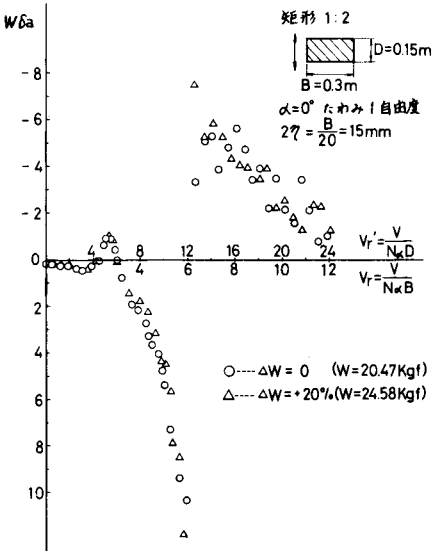


図4 矩形模型の $W\delta_{\alpha}$ と V_r の関係

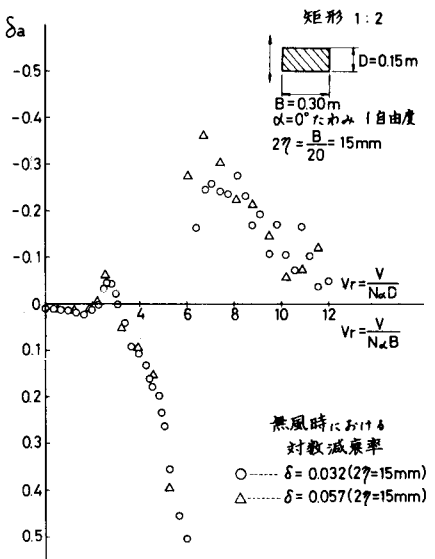


図5 矩形模型の δ_{α} と V_r の関係