

川崎重工業(株) 正員 松田一俊
 川崎重工業(株) 正員 小川一志
 川崎重工業(株) 正員 酒井洋典

1. まえがき 周知のように無風時減衰には構造減衰と空力減衰が含まれているが、従来の風洞模型振動実験では一般的に無風時の空力減衰を無視して無風時減衰をそのまま構造減衰として取扱っている。しかし充腹橋断面のように無風時減衰に占める空力減衰の割合が大きい場合には、有風時の空力減衰に対する計測精度確保の面から無風時の空力減衰の存在を無視することはできない。本報告では無風時減衰から構造減衰と無風時の空力減衰を分離する手法を提案し、無風時の空力減衰に関して若干の考察を加える。

2. 理論的検討 動的空気力の作用を受ける構造物のたわみ1自由度運動方程式は次のように表示される。

$$\ddot{h} + 2\zeta_h \omega_h \dot{h} + \omega_h^2 h = \frac{\omega_g^2}{\omega_h^2} [L_{hr} + i L_{hi}] \ddot{h} \quad (1)$$

ただし、 h ：たわみ変位、 b ：弦長の $1/2$ 、 $\bar{h} = h/b$ 、 ζ_h ：減衰定数、 $\mu = m/\pi \rho b^2$ 、 L_{hr}, L_{hi} ：動的空気力係数、 ω_h ：たわみ振動の固有円振動数、 ω_g ：たわみ振動の円振動数、 m ：単位長さあたりの質量、 ρ ：空気密度。

ここで、たわみ振動の形を次式のように仮定する。

$$\bar{h} = \bar{h}_0 e^{(-\delta_z/2\pi + i)\omega_g t} \quad (2)$$

式(1)と式(2)からたわみ1自由度振動における対数減衰率と動的空気力係数の関係が次のように得られる。

$$\mu [\delta_z - 2\pi \zeta_h (\frac{\omega_h}{\omega_g})] = -\pi L_{hi} \quad (3)$$

動的空気力の作用が無い状態を想定して、そのときの円振動数を ω_{h0} 、対数減衰率を δ_h とすると

$$\mu [\delta_z - \frac{\omega_{h0}}{\omega_g} \delta_h] = -\pi L_{hi} \quad (4)$$

ここで、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とき次のようになる。¹⁾

$$\mu [\delta_z - \delta_h] = -\pi L_{hi} \quad (5)$$

式(5)は次式のように表現できる。

$$y = \delta_h x - C \quad (6)$$

ただし、 $y = W \delta_z$ 、 $x = W$ 、 $C = \pi^2 \rho g b^2 l L_{hi}$ 、 W ：模型重量、 l ：模型長、 g ：重力加速度。

式(6)が成立するとすれば、 $W \delta_z$ と W の関係は直線で表示できて、直線勾配から構造減衰 δ_h 、 y 切片から無風時の動的空気力係数(虚数部) L_{hi} を求めることができる。

3. 実験結果 式(6)の関係を実験的に確認するために、まず重量と構造減衰の関係を調べることにする。図1にたわみ構造減衰と重量の関係を示す。模型として翼形模型(NACA0012)を縦置にして翼弦方向と振動方向を一致させ空気抵抗が微小となるようにしている。このときの対数減衰率を近似的にたわみ構造減衰とみなす。図1より明らかのように重量 W の変化に対して構造減衰の変化は小さく近似的に構造減衰は一定であるとみなせる。換言すると使用した模型振動実験装置の構造減衰 δ_h に関しては質量パラメータ μ の影響を無視することができる。

図2は翼形模型を横置にして無風時でたわみ振動($\bar{h} = \bar{h}_0$)させたときのデータである。 $W \delta_z$ と W の関係は式(6)のように直線で近似できる。直線勾配より構造減衰は $\delta_h = 0.0024$ 、 y 切片より無風時の動的空気力係数の虚数部は $L_{hi} = -0.146$ となる。翼形模型を横置にした状態でのたわみ対数減衰率はほぼ構造減衰に相当すると思われるが、その実験値は $\delta_h = 0.0021$ であり、式(6)より導いた構造減衰 $\delta_h = 0.0024$ とはほぼ等しい値となっている。

ところで、2. で述べた理論はねじれ1自由度振動にも適用でき式(6)に対応する式は次式で表わされる。

$$y = \delta_\alpha x - C \quad (7)$$

ただし、 $y = I_\alpha \delta_\theta$ 、 $x = I_\alpha$ 、 $C = \pi^2 \rho b^4 l M_{\alpha i}$ 、 I_α ：模型極慣性モーメント、 δ_θ ：ねじれ1自由度無風時減衰

M_{aI} : 動的空気力係数(虚数部), δ_a : 構造減衰
 図3は翼形模型を無風時でねじれ振動(倍振幅5°)させたときの実験結果である。たわみ振動のときと同様に $I_a \delta_\theta$ と I_a の関係は直線近似でき、直線勾配より $\delta_a = 0.0012$ 、 γ 切片より無風時動的空気力係数の虚数部は $M_{aI} = -0.0306$ となる。他方ねじれ空力減衰が微小なパイプ模型を用いたときの無風時減衰は $\delta_a = 0.0021$ であり式(7)より求めた構造減衰とかなりの対応を示している。次に式(6), 式(7)から求めた構造減衰を無風時減衰から差し引くことにより得られる空力減衰と振幅の関係を図4, 図5に示す。図4よりたわみ振動の場合、空力減衰は振幅とともに大きくなり振幅の大小に依存するが、図5よりねじれ振動では振幅に依らずほぼ一定の値を示す。

4. まとめ 質量パラメータと無風時減衰の関係は式(6), 式(7)によって直線近似できることがわかった。また式(6), 式(7)から求めた構造減衰と別途空力減衰の微小な模型を用いた実験における無風時減衰(≒構造減衰)とは良く一致し、本報告の手法が無風時減衰から構造減衰と無風時空力減衰を分離するのに有効であることが確認された。

なお矩形模型(1:4)についても翼形模型と同じ実験を行い同様の結果が得られた。これについては当日発表する。

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に答解析に関する一考察, 土木学会論文報告集, 第244号, 1975年12月。

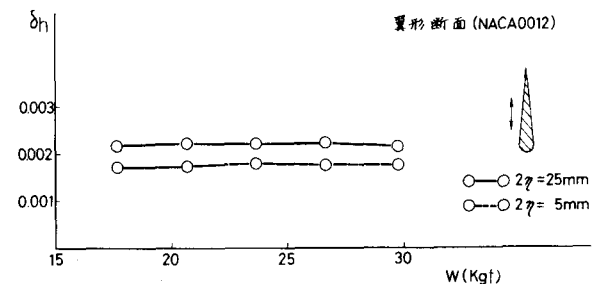


図1. たわみ構造減衰と重量の関係

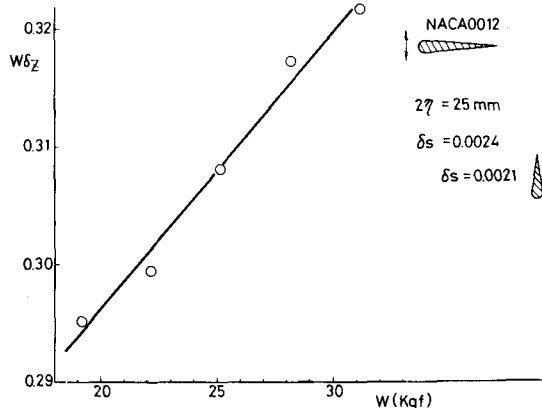


図2. $W \delta_\theta$ と W の関係

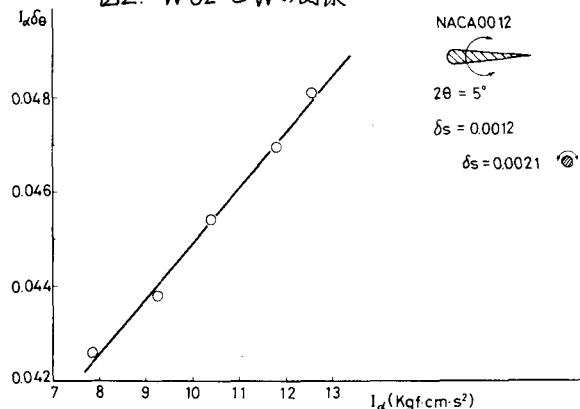


図3. $I_a \delta_\theta$ と I_a の関係

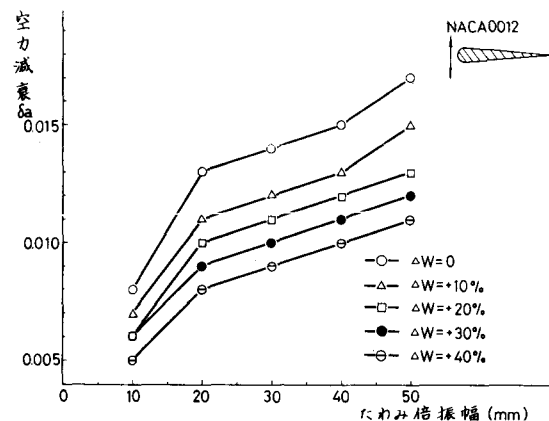


図4. 空力減衰とたわみ倍振幅の関係

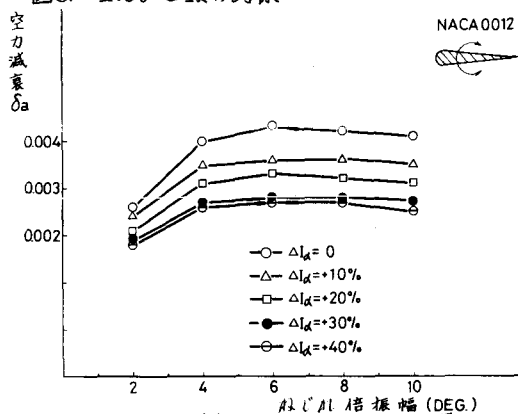


図5. 空力減衰とねじれ倍振幅の関係