

川崎重工業(株) 正員 小川一志
川崎重工業(株) 正員 松田一俊

1 まえがき 構造物の耐風安定性を評価する上で、空力減衰は重要な指標となるが、自然風を模した乱流中の空力減衰の計測法に関しては改善の余地が残されている。空力減衰は有風時減衰から構造減衰を差し引くことにより求めることができるが、図1(a)のように自由減衰波形から有風時減衰 δ を計測する従来の方法では、図1(b)のように乱流によって振動が不規則になると、有風時減衰 δ のものの計測が難しくなるためである。本研究では、乱流中における空力減衰の計測の重要性を考慮して、新たに開発した有風時減衰の計測法(加振振動法と仮称)を紹介する。

2 加振振動法の理論的検討 ばね支持した模型を風洞気流中で加振機によって定常振動させると、模型振動系に入出力するエネルギーの和は零となる。

$$-E_1 + E_2 + E_3 = 0 \quad (1)$$

ここに、 E_1 は加振機からの加振エネルギー、 E_2 は構造減衰による減衰エネルギー、 E_3 は空気力による減衰エネルギーである。

一方、有風時減衰 δ_z は構造減衰 δ_h と空力減衰 δ_{za} の和であることから次の関係式が成立する。

$$\begin{aligned} \delta_z &= \delta_h + \delta_{za} \\ &= E_2/2E + E_3/2E \end{aligned} \quad (2)$$

ここに、 E は模型振動系の最大運動エネルギーである。

式(1)と式(2)より

$$\delta_z = E_1/2E \quad (3)$$

となる。すなわち、有風時減衰 δ_z を E と E_1 より求めることができる。加振機からの加振エネルギー E_1 は、加振力 F と模型変位 x との関係から

$$E_1 = \oint F dx \quad (4)$$

により検出することができる。図2は模型変位 x (横軸)と加振力 F (縦軸)の関係を示シロスコープに描いたものであるが、履歴曲線の面積が、加振機からの加振エネルギー E_1 に相当する。

有風時減衰 δ_z が求められれば、空力減衰 δ_{za} は次式から算出することができる。

$$\delta_{za} = \delta_z - \delta_h \quad (5)$$

ここに、構造減衰 δ_h (文献1)の方法で求められる。

$$\text{対数減衰率 } \delta = \ell_n \frac{h_1}{h_2}$$

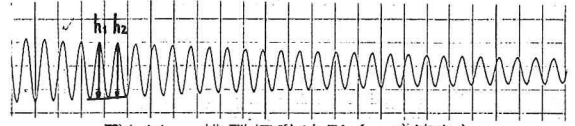


図1(a) 模型振動波形(一様流中)

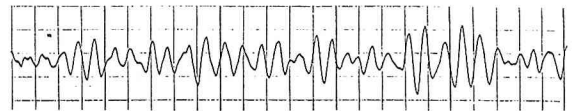


図1(b) 模型振動波形(乱流中)

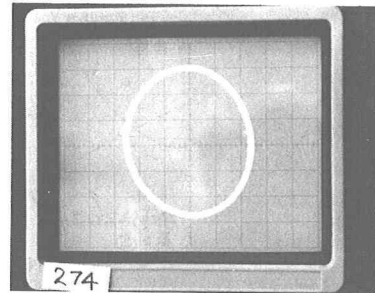


図2 模型変位と加振力の関係

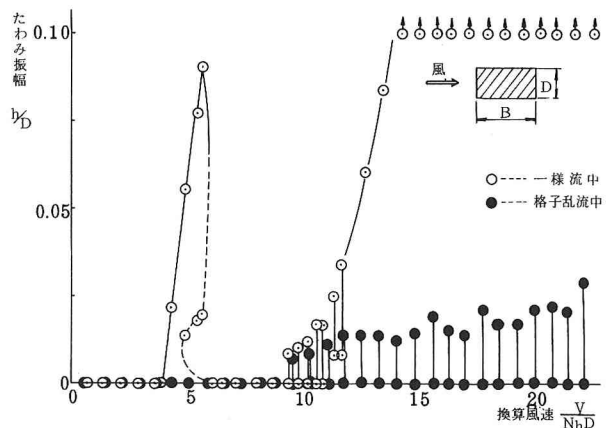


図3 V-A 曲線(矩形模型 $D/B = 1/2$, $2m\phi_h/\rho D^2 \ell = 23$)

3 実験結果 ここでは、乱流の作用を受ける矩形断面の有風時減衰の計測に、加振振動法を適用した例について述べる。風洞は川崎重工業（株）の構造物用風洞（高さ3m×幅2.5m×長さ20m）を用いた。矩形断面（ $D/B = 1/2$ ）のたわみ1目度振動に関する耐風応答を図3に示す。この場合、模型の質量減衰パラメータ $2m\delta h/\rho D\ell = 23$ （ m : 模型質量, δh : 構造減衰, ρ : 空気密度, D : 矩形断面の高さ, ℓ : 模型長）、一様流の乱れ強さ0.2%以内、格子乱流の乱れ強さ16%。平均流方向の乱れのスケール10cmである。図中、○は一様流中、●は格子乱流中の応答を表わしている。宮田・宮崎・山田の研究²⁾にみられるように、一様流中の場合、換算風速 $V_r = 5$ 付近で、たわみ過励振が発生し、 $V_r = 10$ 付近で、たわみの発散振動であるギャロッピングが発生する（ $V_r = V/N_h D$, V : 風速, N_h : たわみ振動数）。それに対して、格子乱流中の場合、 $V_r = 5$ 付近でのたわみ過励振は消滅し、 $V_r = 10$ 付近からのたわみ振動も図1(b)のように不規則な応答となる。矩形断面の耐風安定性を定量的に評価するために、たわみ無次元振幅 $h/D = 0.025, 0.050$ のときの有風時減衰を減衰波形から調べたのが図4(a), (b)である。一様流の場合（○印）、有風時減衰が負となるのは $V_r = 5$ 付近と $V_r \geq 13$ の領域である。格子乱流の場合（●印）、 $V_r = 5$ 付近で有風時減衰はやや減少（空力減衰は負であるが、その絶対値は構造減衰より小さい）となるが、実験風速の範囲内では有風時減衰はすべて正となっている。これらのことは、図3の耐風特性を裏付けるものである。図4において、△印は加振振動法による格子乱流中の有風時減衰 δ_z の計測値である。減衰波形から読取る方法と加振振動法とは、対数減衰率の計測原理がまったく異なるものであるが、図4をみると、それぞれの方法で得られた対数減衰率は換算風速が低く、乱流の影響が小さい領域で良く一致している。しかし、換算風速が高くなって乱流の影響が大きくなると、模型の振動は不規則となり、減衰波形からの読取值（●印）にかなりのばらつきが認められる。特に、無次元振幅 $h/D = 0.25$ （図4(a)）のとき、 $V_r = 25$ 付近のデータが欠落しているが、これは振動波形が不規則なため、 δ_z の決定が困難であることを意味する。それに対して、加振振動法によると、ばらつきの小さい計測値（△印）となっている。

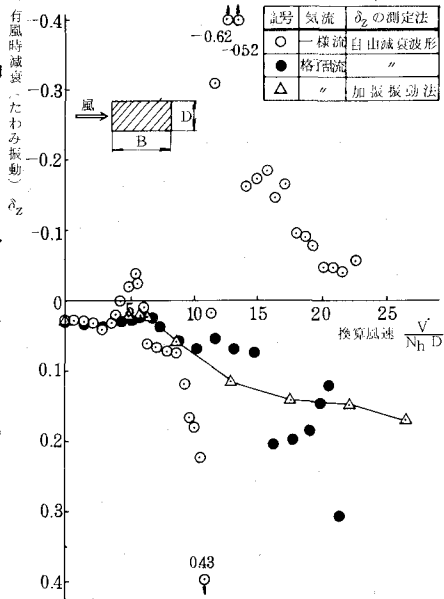


図4(a) V- δ 曲線（矩形模型 $D/B = 1/2$, $h/D = 0.025$ ）

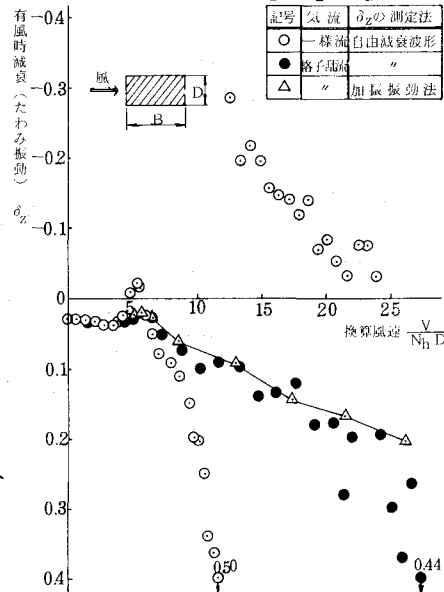


図4(b) V- δ 曲線（矩形模型 $D/B = 1/2$, $h/D = 0.050$ ）

4 あとがき 従来の減衰波形から対数減衰率を読取る方法では、乱流中での有風時減衰の計測精度に問題があった。今回の加振振動法によると安定した有風時減衰の計測値を得ることができて、乱流中での空力減衰の計測、さらには動的空気力係数の計測に大いに威力を発揮するものと思われる。

（参考文献）

1) 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

2) T. Miyata et al. ; Pressure Distribution Measurements for Wind Induced Vibrations of Box Girder Bridges, Proc. 6th Int. Conf. Wind Engg., Gold Coast, 1983