I-112　Oscillator Model による空力弾性特性について

九州工業大学　正員　久保喜延

まえがき

流体中に置かれたbluffな物体の流体により誘起される振動は、そのメカニズムにおいて非常に複雑であり、現象の理論的解析は困難であり、現象の解明は実験的手法に頼らざるを得ないのが現状である。しかしながら、何とか解析的結果を導き出そうとする努力も行なわれてきている。それがOscillator Modelによるアプローチである。円柱後流の渦運動に対してこの種のモデルを最初に提唱したのがBirkoff[1](1953)であり、この考え方を受け継いで種々の研究が行なわれてきた。また、円柱の渦励振領域においてNonlinear self-excited oscillatorの存在を実験的に確認したのがBishopとHassan[2](1963)である。この実験的根拠に基づいてのOscillator Modelも数種提案されている。これらは振動論的モデルであるが、これに対して循環を用いる流体力学的モデルも提案されている。上記の種々のモデルの中でも振動論的なものに含まれるが、Currieら[3](1970)の提案したモデルは円柱の渦励振領域の挙動をVan der Pol型の非線形方程式によって表現したものである。本報告は、円柱に対するこのモデルを正方形角柱に適用することにより、正方形角柱の渦励振領域を取り扱うと同時に、Parkinsonの準定常理論によるGalloping領域に対する空気力とを結びつけることにより、渦励振領域からGalloping領域への移行過程をどの程度表現できるかを試みようとするものである。

Oscillator Model

円柱の渦励振に対するCurrieらの提案したOscillator Modelは無次元時間($\tau=\omega_n t$)で整理すると次式になる。

$$\begin{cases} \ddot{C}_L-\alpha\omega_0\dot{C}_L+\frac{\beta}{\omega_0}\dot{C}_L^3+\omega_0^2C_L=b\dot{X}_r \\ \ddot{X}_r+2\zeta\dot{X}_r+X_r=a\omega_0^2C_L \end{cases} \quad \text{——①}$$

C_L：揚力係数，a：質量比，　$\omega_0=\frac{\omega_s}{\omega_n}$，$X_r=\frac{X}{D}$

ω_s：渦発生振動数，ω_n：構造系の固有振動数，X_r：無次元振幅

上式の第1式は揚力成分に関するOscillatorを表わし、第2式は構造系の応答を表現するものである。このOscillatorによる非定常空気力がどのように表現されるかを検討するために第一式の解のうち強制振動数成分に着目する。①静止時のOscillatorについて、$X_r=0$であるから$C_L=C_{L0}\sin(\omega_0\tau)$なる解を仮定すると、第1式より$C_{L0}=\sqrt{4\alpha/3\beta}$となり、静止時の変動揚力係数$C_{L0}$を知ることにより、$\alpha$, βの関係を決定できる。②一定振幅一定振動数で強制振動する場合のOscillatorについて、$X_r=X_{r0}\sin\omega\tau$，$C_L=|C_L|\sin(\omega\tau+\phi)$を解として仮定し、強制振動数成分に着目する。その結果、$Y=(|C_L|/C_{L0})^2$，$\gamma=\omega_0/\omega_m$とおいて変形すると、求めるべき解は次の3次方程式の正根となる。

$$Y^3-2\gamma^2Y^2+\frac{\gamma^6}{\alpha^2}\left\{\left(1-\frac{1}{\gamma^2}\right)^2+\alpha^2\left(\frac{1}{\gamma^2}\right)\right\}Y-\frac{X_{r0}^2\gamma^4}{C_{L0}^2\alpha^2\omega_0^2}=0 \quad \text{——②}$$

②式の正根は必ず存在し、1実根のみの場合はC_Lに履歴が存在しないことを意味し、2実根以上の場合は、Bishop, Hassanが指摘した如くC_Lに履歴が存在することを意味する。一方、このときの位相差は③式で与えられ、

$$\phi=\tan^{-1}\left(\frac{\gamma^2-1}{\alpha\gamma(1-\gamma^2Y)}\right) \quad \text{——③}$$

Parkinsonの与えた準定常理論による空気力と比較するために、変位速度に比例する空気力C_{LI}を示すと、$C_{LI}=|C_L|\sin\phi$となる。Parkinsonの与えた空気力C_{Fy}のうち強制振動数成分を無次元時間に対して表現すると次式のようになる。

$$C_{LI}=\left(\frac{X_{r0}}{V_r}\right)\left\{a_1-\frac{3}{4}a_2\left(\frac{X_{r0}}{V_r}\right)^2+\frac{10}{16}a_3\left(\frac{X_{r0}}{V_r}\right)^4-\frac{35}{64}a_4\left(\frac{X_{r0}}{V_r}\right)^6\right\} \quad \text{——④}$$

a_i：空気力の多項式近似で求められる係数

V_r：換算風速

あとがき

このようなアプローチは本質的議論とはなりにくいかもしれないが、この種の現象の空力特性、応答特性の理解をする上での一助となり得ると考えられる。詳細については講演当日発表する。

1) Birkoff, J. Appl. Phys., 24-1(1953), 2) Bishop, Hassan; Proc. Roy. Soc. Ser. A, 277(1963), 3) Hartlen, Currie, Proc. ASCE. EM5 (1970)