

Wake-Induced Oscillation 発生時における
下流側円柱の非定常空気力特性京都大学工学部 正員 白土博通 京都大学工学部 正員 松本 勝
京都大学工学部 正員 白石成人

1. まえがき 流体中の複数物体は、互いに他の物体の影響を受けるために、複数物体固有の振動を生じる場合がある。筆者らは、これまで流れに対して直列(in tandem arrangement)、もしくは千鳥(in staggered arrangement)に配置された2本の円柱を対象に、下流側円柱に生じる空力弾性振動についてその応答特性や振動発生機構について風洞実験を通じて検討を加えてきた。^{1), 2)} 本研究では下流側円柱の非定常空気力に着目し、直列、千鳥配列の場合の実測値をもとに、その非定常性および非線形性（振幅依存性）に検討を加えるものである。

2. 非定常空気力の定式化とアナロジー

下流側円柱に作用する自動型非定常空気力は次のように表すことができる。

$$\begin{Bmatrix} D \\ L \end{Bmatrix} = (1/2)\rho d U^2 \begin{bmatrix} k^2 A_R^* & k^2 B_R^* \\ k^2 C_R^* & k^2 D_R^* \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} x/d \\ y/d \end{Bmatrix} + \begin{bmatrix} k A_I^* & k B_I^* \\ k C_I^* & k D_I^* \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \dot{x}/U \\ \dot{y}/U \end{Bmatrix}$$

ただし、 D ：抗力、 L ：揚力、 ρ ：空気密度、 d ：円柱直径、 U ：主流風速、 k ：換算風速（ $k=U/d\omega$ ）
 $A_R^* \sim D_I^*$ ：無次元非定常空気力係数、 x ：主流方向の変位置、 y ：主流直角方向の変位置

図1には、千鳥配置（ $x_0/d, y_0/d$ ）=（2.2, 1.55）を対象に、これらの無次元非定常空気力係数を風速をパラメータにプロットしたものを示す。なお、測定は自由振動法によった。図中 D_I^* が高風速で正の値を示しており、 $y-1$ 自由度振動系でも振動が生じることが示されている。また、2自由度系では楕円軌道状の達成振動が生じることから、この振動は $x, y-2$ 自由度達成振動と、 $y-1$ 自由度振動の両方の特性を兼ね備えたものと言うことができる。このような下流側円柱の空力特性と、振れフラッタおよび達成フラッタ両方の特性を兼ね備える単独物体の空力特性とを比較すれば、両者の間に流体力学的なアナロジーが成り立つ。すなわち、下流側円柱の抗力、揚力を単独物体の揚力、振れモーメントにそれぞれ対応させれば、図1に示すように両者の非定常空気力特性に類似性が認められる。また、流れ

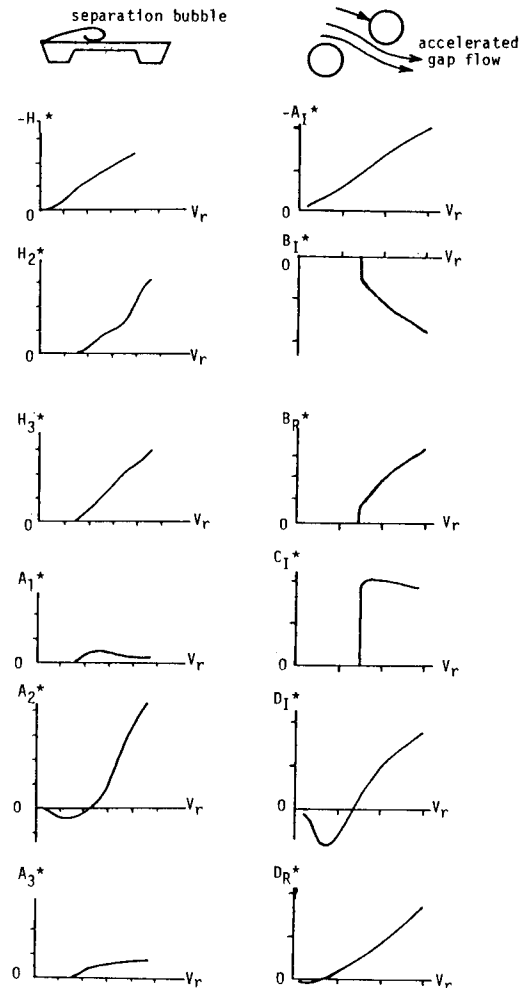


図1 下流側円柱（千鳥配置）と単独物体の非定常空気力特性に関するアナロジー³⁾

のパターンからは、下流側円柱の振動を支配する剥離せん断層の加速(accelerated flow)^{1), 2)}と、単独物体のフラッタ特性を支配する剥離バブルの挙動とがそれぞれの非定常空気力に対して同じように寄与するものと考えられる。

3. 非定常空気力の非線形特性 非定常空気力は通常、振幅の関数として計測される。本研究ではこれらの測定値を元に非定常空気力を変位の関数として次のように表し、その非線形特性に検討を加えた。

$$F = f(x, V_r) + g(\dot{x}, V_r)$$

図2は、直列配置 ($x_0/d, y_0/d$)=(2.8, 0) の場合の非定常揚力係数 $C_L(t)$ が振幅値に応じて変化する様子を変位 (y) とのリサージュ図の形でまとめたものである。小振幅 ($y_0=5, 7.5\text{mm}$) ではリサージュ図は時計方向に閉じており、揚力は励振力として系に作用していることがわかる。しかし振幅が大きくなるにしたがい、リサージュ図の方向が逆転する領域が増え、全体として減衰力へと変化している。このような揚力の振幅による変化は、とくに原点 ($y=0$) 付近の揚力変化の影響が大きく、振幅に伴う振動速度の増加により相対速度 ($\dot{y}$) に起因する揚力成分 (g) が卓越し、これが減衰力として作用するためと判断される。

4. まとめ 本研究で得られた点を列挙すれば次のようである。①千鳥配置に置かれた下流側円柱は y - 方向1自由度系でも振動が発生し、連成空気力の他に非連成揚力成分も振動発生に寄与する。②千鳥配置の下流側円柱と、連成フラッタ、振れフラッタ両者の特性を備えた曲げ振れ2自由度を持つ単独物体との間には流体力学的アナロジーが成立し、前者の空力特性を理解するうえで役立つ。③直列配置の下流側円柱に作用する非定常揚力を変位の関数として表した結果、大振幅では振動速度に起因する揚力成分が卓越するため、励振力から減衰力に変化する等の非線形特性が明かとなった。

謝辞 本研究を進めるにあたり、金潤石(KAIST、前京都大学大学院学生)、辻井正人の両氏をはじめとする京都大学工学部土木工学教室橋梁工学研究室学生諸氏の協力を得たことに對し謝意を表する。

参考文献 1)N.Shiraishi, M.Matsumoto & H.Shirato, J. of Wind Eng., vol.23, 1986, 2)白土、松本、白石、土木学会第42回年講, 1987, 3)R.H.Scanlan, J.G.Beliveau & K.S.Budlong, ASCE, EM4, 1974

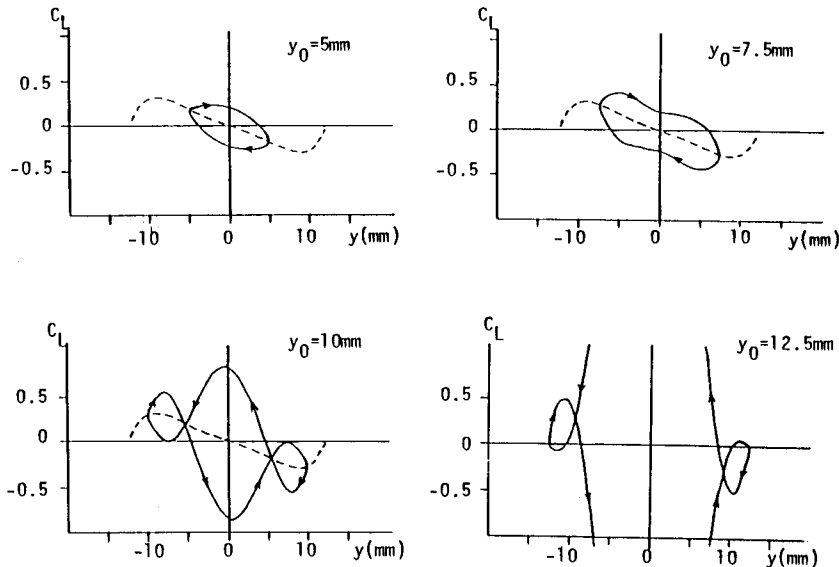


図2 下流側円柱（直列配置）の非定常揚力の非線形特性