ロックイン状態の2次元円柱に作用する流体力

Fluid Force Acting on Two-Dimensional Circular Cylinder in Lock-in Phenomenon

正 岡本 史紀(芝浦工大)

○学 植松 亮介(芝浦工大研)

Shiki Okamoto, Shibaura Institute of Technology, Shibaura 3-9-14, Minato-ku, Tokyo 108-8548, Japan
 Ryosuke Uematsu, Graduate School, Shibaura Institute of Technology

Key Words: Vortex, Displacement, Pressure Distribution, Fluctuating Pressure, Fluid Force, Circular Cylinder, Forced Vibration

1. 緒言

流体による振動は従来、カルマン渦による渦励振が一般的によく知られている。それは渦流出に伴って流れに直角方向の振動が誘起され、物体の固有振動数がカルマン渦の流出振動数に近づくと、カルマン渦の流出振動数が物体の固有振動数に引きつけられる、いわゆるロックイン現象を生じる。このロックイン状態では物体の振動振幅が急激に増加し、時には大規模な事故等が誘発される場合もある。このため渦生成を伴う物体の振動対策のために、ロックイン状態での物体に作用する流体力の研究、とりわけ流体力学的励振力の評価が重要な課題となってきた。しかし円柱状物体に作用する流体力に関する報告も大半は固定支持の場合であり、振動している状態での円柱状物体に作用する流体力については Bishop & Hassan⁽¹⁾以外、最近までほとんど報告されていない。

さらにロックイン状態の流れ特性に関しては円柱の場合では永田⁽²⁾による渦の流出機構についての報告しか見当たらず、角柱の場合について Otsuki ら⁽³⁾による流体力の振幅依存性、坂本⁽⁴⁾による背面圧力、変動圧の角柱のアスペクト比による変化、平板の場合の Bearman ら⁽⁵⁾による背面圧力の振幅依存性についての報告がある程度である。

本研究ではその点に注目して2次元円柱を流れに直角方向に強制振動させ、加振振動数をロックイン状態の領域内外に変化させた場合の加振振動数に対する2次元円柱に作用する流体力について詳細に調べる。

2. 実験装置および実験方法

本研究で用いる風洞は、500mm×500mmの正方形吹き出し口をもつN.P.L.式ブローダウン型風洞で、長さ2000mmの測定部を有している。モデルとなる円柱は直径 $D=60\text{mm}$ のアルミ製のものを用い、前縁より500mm下流の位置に風洞測定部全幅にまたがって取り付け、加振装置により流れに直角方向に正弦的に加振する。供試円柱は表面に 10° おきに $\phi 1.2\text{mm}$ の圧力測定孔を設けて、下方より円柱表面の圧力を取り出す。

本研究では円柱表面の時間平均圧力の測定にはスキャニバルブを用い、変動圧力の測定には圧力変換器を使用する。渦流出の有無を調べるため円柱後方の近傍後流のパワースペクトルの測定では定温度形熱線流速計とFFTアナライザを使用する。

本実験においてパラメータとする加振振動数 n はロックイン状態の領域内外の $10\text{Hz} \sim 20\text{Hz}$ すなわち $S_v = Dn/U = 0.120 \sim 0.240$ の間の15種類に変化させて、振動振幅3mm、レイノルズ数 $Re = 1.9 \times 10^4$ のもとで実験を行なう。

3. 実験結果及び考察

3.1 ロックイン領域 2次元円柱の近傍後流におけるパワースペクトルを図1に示す。図中のAは渦の流出振動数に

おけるピークを示し、Bは円柱の加振振動数におけるピークを示している。A, Bの両者のピークの間隔は加振振動数を増すにつれ狭まり、 $S_v = 0.186$ 付近から両ピークは一致し、いわゆるロックイン状態に入ることが示されている。さらに加振振動数が増すと $S_v = 0.222$ 以上でははっきり2つのピークが現われ、ロックイン状態から離脱したことを示している。以上の結果よりロックイン領域を図2に示す。尚 St はストローハル数を表わす。 $St = S_v$ の線に実験値が重なる領域はロックイン状態にあることが示されており、 $S_v = 0.186 \sim 0.216$ の範囲でロックイン現象がおこっていることがわかった。

3.2 円柱表面圧力分布、平均抗力係数 円柱が振動している状態における振動変位に対応した円柱の表面圧力分布を調べた。振動変位のパラメータは振動変位1周期の 90° 間隔の振動位相角 ωt とする。図3にロックイン状態前の $S_v = 0.156$ 、ロックイン状態の 0.204 、ロックイン状態か

Fig.1 Power spectrum

Fig.2 Lock-in region

ら離脱した 0.222 の 3 種類の振動数による時間平均表面圧力の円周方向分布を示す。ロックイン領域の外側である $Sv=0.156, 0.222$ の場合は表面圧力分布にさほど変化は見られないが、ロックイン領域の内側の $Sv=0.204$ の場合は $\omega t=0^\circ, 180^\circ$ で著しい変化は見られた。さらに 1 周期全体の平均した表面圧力分布を図 4 に示す。この図を見るとロックイン領域のほぼ中央である $Sv=0.204$ では他の場合に比べて $\theta=180^\circ$ 付近の背面圧力は低下していることが明らかである。その背面圧力係数及び図 4 の表面圧力より求めた平均抗力係数を図 5 に示す。図中の斜線はロックイン領域を示したものである。図 5 よりロックイン領域に入ると背面圧力係数は低下し、 $Sv=0.205$ 付近で最低値に達し、その後再び高い値へ増加する傾向が見られる。このような傾向は坂本ら⁽⁴⁾、Bearman ら⁽⁵⁾の角柱、平板の場合にも見られた。さらに平均抗力係数も背面圧力係数の変化とほぼ対応しており、ロックイン領域に入ると抗力係数は増加し、 $Sv=0.205$ 付近で最も高い値を示し、その後減少する傾向を示している。

3.3 円柱表面変動圧力分布、変動抗力揚力係数

位相平均法⁽⁶⁾により求めた振動変位に対応した円柱表面の変動圧力の円周方向分布を図 6 に示す。この図を見るとロックイン領域外側の $Sv=0.156, 0.222$ では変化はわずかししか見られないが、ロックイン領域の $Sv=0.192$ では $\theta=80^\circ, 280^\circ$ 付近の変動圧力では振動位相角によって大きく変化し、その付近では、円柱表面に作用する変動圧力の方向は $\omega t=90^\circ$ 付近で逆転する様子がわかる。また同じ現象は $\omega t=270^\circ$ 付近でも起こっている。変動圧力の測定結果から円柱表面に作用する変動揚力係数を求めた。それらの結果を図 7 に示す。この図を見るとロックイン領域に入ると変動揚力係数が急激に増加し、角柱の場合について Otsuki ら⁽³⁾によって報告されているようにロックイン領域の中央付近で最大値に達した。

Fig.3 Surface pressure distribution

Fig.4 Surface pressure distribution

Fig.6 Fluctuating pressure distribution

Fig.5 Base pressure coefficient and drag coefficient

Fig.7 Fluctuating lift coefficient

4. 結論

- (1) 本実験では $Sv=0.186 \sim 0.216$ の範囲でロックイン領域に入ることが明らかになった。
- (2) ロックイン領域ではその前後と比べて背面圧力は低下、平均抗力は増加し、特に領域の中央付近では背面圧力は最小値、平均抗力は最大値に達する。
- (3) ロックイン領域では平均圧力、変動圧力とも振動位相角によって大きく変化する。さらに変動揚力係数は急激に増加し、領域の中央付近で最大値に達する。

文献

- (1) Bishop, R.E.D. and Hassan, A.Y., "The lift and drag forces on a circular cylinder oscillating in a flowing fluid.", Proc. Roy. Soc., London A-277(1964), 51-57
- (2) 永田拓, 林一也, 河合正昌, 一樣流で正弦振動する円柱まわりの流れ(第一報, 同期現象下の渦の放出機構), 機論 51-464, B(1985), 1157-1165
- (3) Otsuki, Y., Washizu, K., Tomizawa, H. and Ohya, A., A note on the aeroelastic instability of a prismatic bar with square section, J. Sound and Vibration, 34-2(1974), 233-248
- (4) 坂本弘志, 羽二生博之, 小畑芳弘, 沼田一哉, 振動するく形断面柱に作用する流体力特性(流れと直角方向に振動する場合), 機論 60-572, B(1994), 1196-1203
- (5) Bearman, P.W. and Davies, M.E., The flow about oscillating bluff structures, Proc. 4th Int. Conf. on Wind Effects on Buildings and Structures(1975)285-295
- (6) 阪田一郎, 木谷勝, 塚田亮, 直列配置 2 円柱に作用する変動流体力(第 1 報, 時間平均抗力および変動流体力の強さ), 機論, 51-461, B(1985), 43-50