204 流れ方向強制振動食い違い配置二円柱まわりの渦流れ

The Vortex Flow Around a Pair of In-Line Forced Oscillating Staggered Arranged Circular Cylinder

正 横井 嘉文 (防衛大)

水野 紗聡 (防衛大)

河野 健 (防衛大)

西山 貴幸 (防衛大)

大上 晃一郎 (防衛大)

栗田 大樹 (防衛大)

Yoshifumi YOKOI, National Defense Academy of Japan, 1-10-20 Hashirimizu, Yokosuka 239-8686

Satoshi MIZUNO, National Defense Academy of Japan, 1-10-20 Hashirimizu, Yokosuka 239-8686

Ken KAWANO, National Defense Academy of Japan, 1-10-20 Hashirimizu, Yokosuka 239-8686

Takayuki NISHIYAMA, National Defense Academy of Japan, 1-10-20 Hashirimizu, Yokosuka 239-8686

Kouichiro OOUE, National Defense Academy of Japan, 1-10-20 Hashirimizu, Yokosuka 239-8686

Daiki KURITA, National Defense Academy of Japan, 1-10-20 Hashirimizu, Yokosuka 239-8686

Key Words: Vortex, Interference flow, Lock-in, Staggered Arrangement, Two Cylinders

1. 緒 言

流れの中に置かれた構造物は複数の柱状物体より構成されていることが多く、数多く蓄積されている単独の場合の知見がそのまま適応できるかは保証の限りではない。複数構造物の最も単純な組み合わせ例として、二本の円柱を直列あるいは並列に配置して二円柱まわりの流れ特性や流れの様子を調査した例は多く見受けられるが、その間の配置角度における二円柱まわりの相互干渉流れについて調査された例はあまり無いのが現状のようである。まして非定常な流れ場にさらされた例はほとんど見受けられていない。

本報では、配置角度が 45° の食い違い配置二円柱を流れ方向に強制的に振動させ周期的な相対流速の変動がある非定常流れ中の二円柱からの渦放出特性を既報⁽¹⁾で行った実験範囲を拡大して調査した結果について報告する。

2. 実験装置および方法

実験装置は既報⁽¹⁾で用いた回流水槽装置と振動装置と可視化装置および映像記録装置を用いた。回流水槽の測定部の長さは 2m、幅は 0.8m で水深は 0.4m であり、測定部の中央部付近の主流速 0.4m/s に対する乱れの度合いは $\pm 1.5\%$ 程度であった。振動装置は水槽測定部に設けられていて、振動装置に接続したスライドプレートに供試円柱が取り付けられる。振動装置の小型モータで回転円盤を回転させ、スコッチヨーク機構を用いて直線運動に変換させ円柱を流れ方向に正弦的に振動させる。振動パラメータの変化は、回転円盤上の回転半径および回転円盤の回転数をそれぞれ変化させることにより得られる。可視化装置および映像記録装置は、ビデオカメラ、ビデオレコーダ、映像モニタ、500W ハロゲンライト (2 台) などから構成されている。供試円柱は外径 16mm、内径 14mm、長さ 600mm のアルミニウム製で表面から互いに独立したトレーサ浸出孔が 2 か所 $\pm 60^\circ$ の角度で設けられている。円柱は振動装置のスライドプレートに取付けられ、水面下 140mm の位置でトレーサ (ローダミン B) が浸出される。ふたつの円柱は便宜上、上流側にある円柱を第 1 円柱、下流側にある円柱を第 2 円柱と呼んだ。

実験は既報⁽¹⁾と同様な方法と手順で行った。ふたつの円柱の配置角度 α を 45° に設定し、距離比 L/d を 1.5, 2.5, 5.5 にそれぞれ設定した後、振動パラメータの振動振幅比 $2a/d$ ($=0.25, 0.5, 0.75, 1.0$) および振動数比 f/f_K ($=0 \sim 5.5$) を変化させて、流れの様子を可視化観測した。

3. 実験結果および考察

流れ方向に振動する単独円柱からの渦放出は、交互渦放出 (A)、同時渦放出 (S) に大別され、その二つの状態が入れ替わって出現したり (A+S)、渦放出方向が振り子のように変化する場合 (P) が観測されている。⁽²⁾ 食い違い配置振動二円柱の場合にも振動単独円柱の場合と同様な分類ができるが、マッシュルーム顔形状の渦を形成する場合 (m) と相方の円柱に邪魔をされ片側のみしか渦放出が無い場合 (o) を加えてフローパターンの分類を行った。渦放出のスケッチを図 1 に示す。食い違い配置された振動二円柱における個々の円柱からの渦放出によって形成されるフロー

Fig. 1 Sketches of the vortex shedding situation from an oscillating cylinder

パターンの分布およびロックインの発生状況を横軸に振動数比、縦軸に振幅比をとって距離比ごとに図示する。図2は距離比 $L/d=1.5$ の場合、図3は距離比 $L/d=2.5$ の場合、図4は距離比 $L/d=5.5$ の場合をそれぞれ示している。各図において、振幅比ごとにデータは5段に打点されている。図中にて、中段は比較のための単独円柱のフローパターンが記されている。下段は第1円柱のフローパターン、最下段は第1円柱のロックインが記されている。上段は第2円柱のフローパターン、最上段は第2円柱のロックインが記されている。図中の記号はフローパターンでは渦の放出形態により大別されていて、○印系統（図中赤色）は交互渦放出（A）、□印系統（図中青色）は同時渦放出（S）、△印系統（図中緑色）は交互と同時が混在する渦放出（A+S）を示している。ここで、凡例中の文字記号「P」は渦放出方向が振り子のように変化する場合、「m」はマッシュルーム断面形状の渦を形成する場合、「o」は相方の円柱に邪魔をされ片側のみしか渦放出が無い場合を示している。ロックインの発生状況では○印（図中赤色塗潰し）は交互渦放出型のロックイン（Alternate vortex shedding type Lock-in = A Lock-in）、□印（図中青色塗潰し）は同時渦放出型のロックイン（Simultaneous vortex shedding type Lock-in = S Lock-in）を示している。なお、図中にてデータの打点が無い所は渦として認識出来ずにカウントが出来ない状態であることを意味する。距離比によらず振幅比が大きくなると観測できる渦の振動数範囲が狭くなる傾向にあることが見てとれる。距離比が大きく円柱同士が離れている場合（ $L/d=5.5$ ）においても第1円柱のフローパターンと第2円柱のフローパターンはおおよそ同じであるが、単独円柱の場合と異なるフローパターンが出現している。距離比を小さく円柱同士を近づけると、相互干渉の効果が表れ出してくる。特に振動周波数比 f/f_K が1~3の範囲にて、両円柱のフローパターンは顕著な違いが見られている。

二円柱の相互干渉が強く現れる状態においても、ロックインすることが見てとれる。高周波数側の振動数では第1円柱と第2円柱ともロックインする振動数の範囲は同じであるが、低周波数側では第1円柱と第2円柱では異なっている。振動振幅を変化させるとロックインする範囲はあまり変化はないが、同時渦放出型のロックイン（ $f_{VK}/f=1/1$ のロックイン）の範囲が広がるなどのロックインの内容に変化が見られた。距離比が $L/d=1.5$ の時（図2）、第1円柱で渦放出がある時はロックインが生じている。また、第1円柱が交互渦放出型のロックイン（A Lock-in）を起こしている時に、第2円柱が同時渦放出型のロックイン（S Lock-in）が生じているという現象が起きている。この現象は距離比 $L/d=1.5$ の場合にしか現れなかった。距離比が $L/d=2.5$ の時（図3）、振動数比 $f/f_K=0.6$ 以上の範囲では第1円柱と第2円柱ともロックインする傾向が見られる。また振幅比 $2a/d=0.25$ の時、振動周波数比 $f/f_K=1.8\sim3$ の範囲では交互渦放出型のロックインであったが、振幅比 $2a/d=0.5$ の時では同じ振動周波数比の範囲では同時渦放出型のロックインであった。距離比が $L/d=5.5$ の時（図4）、交互渦放出型のロックインと同時渦放出型のロックインの出現振動数帯は第1円柱と第2円柱においてほとんど変わりなかった。なお、振幅比が小さいとロックインし始めるまではほとんど静止時の渦放出周波数と同じであった。

4. 結 言

配置角度を 45° とした食い違い配置の二円柱において、3種類の距離比について流れ方向に振動させた時の流れの様子や渦放出特性を調査した結果、以下の事柄を得た。

(1) フローパターンの分布は単独円柱の場合と比較して異なることや、距離比によりおのおのの円柱においてフ

ローパターンの分布が異なること。

(2) 二円柱後流が相互干渉している条件下で振動させてもロックインがそれぞれの円柱で生じること。

参考文献

- (1) 横井・他4名、機講論、No.12-40(2012)、385.
- (2) 横井・平尾、機論B、74-746(2008)、2099.

Fig. 2 Flow pattern and lock-in distributions in the case of $L/d=1.5$

Fig. 3 Flow pattern and lock-in distributions in the case of $L/d=2.5$

Fig. 4 Flow pattern and lock-in distributions in the case of $L/d=5.5$