410

振動板の逆位相微小励起による柱状物体後方の
カルマン渦列の制御Control of Karman Vortex Shedding behind Bluff Body by Micro Excitation
of Side Plates with 180 Degree Phase Shift in Spanwise Direction

正 山本 芳久 (九大)

正 井上 雅弘 (九大)

○正 小田 学 (九大院)

正 古川 雅人 (九大)

Yoshihisa YAMAMOTO, Kyushu University, Hakozaki 6-10-1, Higashi-ku, Fukuoka
 Manabu ODA, Kyushu Univ.
 Masato FURUKAWA, Kyushu Univ.

Masahiro INOUE, Kyushu Univ.

Key Words :Karman Vortex, Active Control, Bluff Body, Micro-Excitation, Spanwise Phase Difference

1. まえがき

流体騒音の低減は環境問題と関連することから重要な課題になっている。著者等はエオルス音に注目し、これまでのような大きな外力を用いるのではなく、マイクロアクチュエータによる“lock-in”制御によって柱状物体のカルマン渦列を制御する方法を検討^{(1)~(4)}してきた。前報⁽⁴⁾では柱状の側壁に設置した複数の微小振幅の振動板を自然の渦放出周波数の前後の周波数でスパン方向に逆位相で振動させると、カルマン渦列はスパン方向を境にして位相が反転し、カルマン渦自身によって抗力や騒音が低減される可能性があることを示した。しかしながら、本方法では渦放出の位相の反転は振動板の励起による引き込みの大きさだけでなく、スパン方向相関長さやスパン方向の引き込みのバランスによって影響される。

本報では“lock-in”時の引き込み量の定量化や、引き込み量と渦放出の追従性などを明らかにする。

2. 実験装置と方法

実験は幅 300mm, 高さ 300mm, 長さ 700mm のアクリル製のテストセクションを有する低速風洞で行った。図 1 に示す柱状モデルは振動板の枚数を片側 4 枚としたほかは前報⁽⁴⁾と同様である。即ち直径 20mm の半円柱と縦 10mm×横 25mm×高さ 300mm の角柱が一体となったジュラルミン製柱体の後部に、直径 20mm の真鍮製の半円柱を取り付けた。両側壁は縦 75mm×横 25mm×厚さ 0.8mm の片持ちのプラスチック板（以下振動板）4 枚ずつで構成され、振動板を微小振動させるために 25mm×10mm のパイモルフ型圧電素子をそれぞれの振動板の内側に 3 枚接着した。このように、振動板の枚数を前報の 12 枚から 4 枚にすることによって、各振動板の振幅の平均周波数特性と電圧特性をほぼ均一にすることができた。各振動板の自由端における最大振幅は約 65 μm であった。

圧電素子は全て周波数が等しい 30~130V の矩形波の交番電圧により両側壁表面が 180° の位相差で振動する逆位相モードで駆動する。圧電素子への印加電源は 4 チャンネルの位相シフター付きで 1 チャンネルを基準として任意の位相を設定できる。本実験においては、左右の振動板を 1 チャンネルで駆動し、振動板の上から 2 枚ずつを 1 組にしてスパン中央を境に上下で 180° の位相差を設けて励起した。この場合各チャンネル間で引き込み量が異なると、流れが引き込みの大きい方の影響を強く受けるのでスパン中央において振動板 1, 2 および 3, 4 を単独で振動させた場合の引き込み量を振幅を調整することによってバランスさせた。なお圧電素子への印可周波数を励起周波数 f_e とし、 f_e と自然の渦放出周波数 f_0 の差 $\Delta f = f_e - f_0$ をシフト周波数と呼ぶ。図において流れ方向は左から右、座標系はモデル後端を原点として、流れ方

向に X, モデル幅方向に Y, スパン方向に Z 軸とする。

後流の速度変動のスペクトル応答と相互相関の測定は、I 型および L 型熱線プローブを用い、いずれも物体の後端から下流 4D (D はモデル直径) の流れ方向に垂直な面で行った。主流速度は $U=5\text{m/s} \sim 20\text{m/s}$ で、シフト周波数の範囲は $-25\text{Hz} \leq \Delta f \leq +35\text{Hz}$, モデル直径 D に基づくレイノルズ数の範囲は $0.525 \times 10^4 \sim 2.1 \times 10^4$ である。

Fig.1 Configuration of bluff body tested

3. 実験結果と考察

3.1 引き込み量の定量化

本研究では、壁面境界層励起による引き込み現象の効果を定量的に評価するために、以下に示す値 E を導入した。即ち図 2 に示すように制御無しの場合と制御時のそれぞれのスペクトル波形において、自然の渦放出周波数から $\pm 50\text{Hz}$ の領域で面積 V_n , V_e を求め、制御無しの場合は自然の渦放出周波数で、制御時は励起周波数でのパワースペクトル密度 ($P_n(f_0)$, $P_e(f_e)$) を算出する。次にそれぞれにおいて、 $P_n(f_0)$, $P_e(f_e)$ を頂点とする三角形にスペクトル波形を近似し、その三角形の底辺長の比 E を引き込み量とした。

$$E = \frac{L_n}{L_e} = \frac{2V_n/P(f_0)}{2V_e/P(f_e)} = \frac{V_n P(f_e)}{V_e P(f_0)} \quad (1)$$

但しこの評価法では、制御無しの場合のスペクトル波形を基準にするため、流速が異なったり、モデル形状が変わった場合、数値としての比較ができない点に注意しなければならない。図 3(a), (b) に $Y=15\text{mm}$ のスパン中心 $Z=150\text{mm}$ における $U=10, 20\text{m/s}$ の場合の振幅の変化に対する引き込み量 E と f_e/f_0 の関係を示す。図からいずれの流速に対しても振幅が大きいほど E は大きく、また同じ E に対する f_e/f_0 の範囲は増加する。すなわち振幅が大きいほどより広い範囲のシフト周波数で励起することができる。E の値が最大となるのは必ずしも $f_e/f_0=1$ の時ではないが、その最大値は各流速に対して $0.95 \leq f_e/f_0 \leq 1.05$ に存在する。上述した理由により(a),(b)の E の値を比べることはできないが、スペクトル波形から流速が大きいほど引き込みやすく、励起できる周波数範囲も広がる。

Fig.2 Definition of magnitude of the entrainment E

Fig.3 variation E for f_c/f_0

3.2 引き込みの違いによる渦の挙動

図 4(a),(b)に $U=20\text{m/s}$, $\Delta f=+5\text{Hz}$ で引き込み量が異なる場合の $Y=15\text{mm}$ の断面で、スパン方向各位置に対して遅れ時間 τ を変化させた時の相互相関係数の等高線図を示す。左側の図はスパン中央におけるスペクトル波形で E_1, E_2 はそれぞれ、振動板 1,2(CaseA)および 3,4(CaseB)を単独で振動させた場合の引き込み量である。図から引き込み効果が大きい(b)の方が明らかにスパン中心付近を除けば渦放出が励起モードに追従している。これは引き込み効果が大きいほど二次元性が増し、スパン方向で同一位相の渦が放出されやすくなるためである。なお、いずれの場合もスパン中心付近で相関係数の分

(a) in the case of small E

(b) in the case of large E

Fig.4 Spectrum and cross correlation of fluctuating velocity in the case of different excitation ($U=20\text{m/s}$)

布に乱れがあるのは位相が反転している二つの渦構造がスパン方向に揺らぎを生じているためと考えられる。

3.3 渦放出の追従性

本実験では振動板の動きに渦放出が追従しているかを定量的に求めるために、時間相関コンターマップを用いた。即ち図 4 において $Z=50\sim 125\text{mm}$ と $Z=175\sim 250\text{mm}$ のそれぞれの領域において相関係数の極大値が現れる遅れ時間の平均値 τ_l, τ_u を検出し、 $\Delta\tau = \tau_l - \tau_u$ から位相差 $\Delta\theta$ を求めた。この場合スパン中心付近の Z 方向 $\pm 50\text{mm}$ 以内の範囲を除いたのは、上述の理由による。図 5 に 3 つの流速に対する $\Delta\theta$ とシフト周波数 Δf の関係を示す。図から流速が大きくなるにつれて位相差が大きくなり、渦放出が振動板の位相差通りに放出される傾向が認められる。また反転できるシフト周波数の範囲も広くなる。図 6 に各流速において、引き込み量が最大となるように制御した場合のスパン方向相関長さを Re 数に対して示している。図からわかるように、流速が小さい場合相関長さは小さくなる。このことが流速が小さくなると渦放出の位相が反転しにくくなる一因と考えられる。

4. まとめ

本実験では流速が大きいほど振動板の動きに渦放出が追従しやすくなるが、スパン中心を境にして上下の渦放出の位相差が 180° ないと揚力変動が押さえられないというわけではないので、今後は揚力の直接測定によって本方法の有効性を確認する予定である。

参考文献

- (1) 井上他 4 名, 日本機械学会論文集, B 編, 63-606, pp.577-582, 1997
- (2) Inoue, M. et al., JSME Centennial Grand Congress, Vol.2, pp.961-965, July, 1997
- (3) 山本他 4 名, 機講論, No.98-15, 1998, 87-88
- (4) 山本他 3 名, 機講論, No.99-1, 1999, 167-168

Fig.5 The phase difference on cross correlation

Fig.6 Coherent length on excitation