近接水平 2 平板の後流特性に関する研究

Wake characteristics of two parallel flat plates separated by narrow space

○学 信太慶介（北見工大院） 正 松村昌典（北見工大）

Keisuke SHIDA, Graduate school of Kitami Inst. of Technology, 165 Koen-cho kitami, Hokkaido 090-8507.
Masanori MATSUMURA, Kitami Institute of Technology

The purpose of this study is to understand the wake characteristic of two parallel flat plates separated by narrow space. The vortex formation process in either case of "overshoot" or not was shown by using the phase average technique. As the result, it was found that maximum vorticity during the vortex formation process increases temporarily.

Key Words: Wake, Two parallel flat plate, Vortex, Instability, Phase average

1. 序論

流れに平行に置かれた薄板の後流では、速度変動の増幅過程で下流方向に中心流速や後流幅が減少する"overshoot"と呼ばれる現象の生じることが知られている⁽¹⁾。この overshoot は、非線形干渉による平均流速分布の急変と解釈されており、乱流遷移における不安定問題として、理論的、実験的に取り扱われることが多い。しかし overshoot の起きているときの後流渦構造の詳細を具体的に示した例は少ない。そこで著者らは、平板後流の渦構造の具体的な特徴を定量的に求め、overshoot が起きている時に起こる後流の特徴を明らかにする目的で、主流速の変化や、平板表面の境界層を発達させるなど様々な条件を変え実験を行ってきた。その過程で、後流幅に厚みをもたせ、かつ逆流領域のない後流を作る為に、2枚の平板に適当な間隔を空けて流れに平行に設置し、主流速を変化させ、2平板の後流を計測した。今回はその後流特性について報告させていただく。

2. 実験装置及び実験方法

2-1 実験装置 本実験では、試験部断面 350mm×350mm、長さ 1730mm の吹き出し型風洞を用いた。供試物体である 2枚の平板はともに厚さ 1mm の鉄板製で、前縁および後縁に平行面に対して約 2° のテーパ状のエッジ加工をそれぞれ施した。これらをアクリル製の厚さ 1mm のスペーサーを用いて平板上部および下部で重ね合わせ、2平板の間隔 d が 1mm となるようにし、それを風洞試験部に流れと平行に設置した。2平板の後流は X 型の熱線流速計にて測定した。Fig.1 に座標系を示す。座標系は主流方向が x 軸、平板と垂直な方向が y 軸、平板のスパン方向が z 軸であり、原点は 2平板間の幾何学的中心の後縁とした。 x 軸、 y 軸方向それぞれの速度は瞬時値を U , V , 時間平均値を $\bar{U}$, $\bar{V}$, 変動成分を u , v とする。

Fig. 1 Definition of main symbols

2-2 実験方法 後流中心流速の時間平均特性を調べるため、熱線流速計を x 軸上で原点より下流方向に移動させた。測定は x 方向が $4\text{mm} \leq x \leq 300\text{mm}$ の範囲で、サンプリング周波数は 10kHz, 1 測定点あたり 50000 点(5 秒)とした。

また、平板後流の周期的構造を調べるため、位相平均法により二次元平面内の流れ場の解析を行なった。位相判定に用いる基準信号は被位相平均波形の v 成分とした。基準信号 1 周期を 72 分割して位相平均を行なった。測定は x 方向が $4\text{mm} \leq x \leq 130\text{mm}$ の範囲で overshoot 時は 1mm 間隔に 126 点、そうでない時は 49mm までを 0.5mm 間隔に測定して 172 点とした。 y 方向はどちらも $-12\text{mm} \leq y \leq 12\text{mm}$ の範囲の 75 点で行なった。予備実験により主流速度 U_0 を変えたところ、 $U_0=2.8\text{m/s}$ のとき overshoot が起こり、 $U_0=3.9\text{m/s}$ のとき overshoot が起こらないことを確認した。そこで本実験では前者を case1, 後者を case2 と呼び、この 2つの case の実験を行った。弦長 L に基づくレイノルズ数は case1 のとき $Re \approx 29400$, case2 のとき $Re \approx 40960$, サンプリング周波数は 10kHz で、1 測定点あたり case1 のとき 50000 点(5 秒), case2 のとき 80000 点(8 秒)とした。

3. 実験結果

Fig. 2 Wake center velocity U_c and RMS of velocity v

Fig. 3 Vorticity distribution

3-1 後流中心流速 Fig.2に後流中心における流速 U_c/U_0 と v の乱れ強さ $v_{rms} = \sqrt{\overline{v^2}}$ の下流方向変化を示す。これら二つのグラフから、case1 の中心流速 U_c は後縁直後で急増したあと一時的に減少し、その後ゆるやかな増加へ変化していくことが分かる。同様に乱れ強さ v_{rms} も後縁直後から急増した後極大値に達して減少に転じ、さらに下流方向で再増加していく。これは Sato らの実験⁽¹⁾で確認されたものと同じであり、overshoot が起きた時の特徴である。一方 case2 では、overshoot は起こらず、鈍い物体の後流と同様な傾向のあることが分かる。

3-2 位相平均特性 v を基準信号として U, V を位相平均した結果から、テイラー仮説に基づき、各 x 断面の1周期分の渦度分布を求めた結果を Fig.3 に示す。これらを見ると、overshoot が起きていない case2 の渦度分布では、渦が巻き上がった後で、渦の形が下流方向で変化していない。それに対し、overshoot が起きている case1 の渦度分布では $x=79\text{mm}$ 以降で渦の形が上流側に比べて真円に近くなっていることが分かる。

Fig.4 に位相平均法より求めた各 x 断面における最大渦度 ω_{max} を示す。overshoot が起きていない case2 は下流方向に最大渦度が一様に減少していくことが分かる。一方、overshoot

が起きている case1 では、下流方向に $x=30\text{mm}$ までは最大渦度は減少していくものの、その後 $x=60\text{mm}$ 付近をピークに値は増加する。それより下流にいくと、case2 とほぼ同じ勾配でゆるやかに減少していく。

Fig.5 に渦度分布の面積積分から求めた各 x 断面における渦1つ当たりの循環を示す。overshoot が起きていない case2 は下流方向に循環が一様に減少していく。一方、case1 では多少の増減はあるものの、 $x \leq 60\text{mm}$ ではほぼ一定であり、それより下流では循環の値は case2 とほぼ同じ勾配で減少する。

4. 結論

- ・近接水平2平板の後流では、主流速度によって overshoot の有無が生じる。
- ・overshoot が起きている後流では、渦形成の過程で最大渦度は一時的に増加するが、その後ゆるやかに減少していく。この減少の勾配は、overshoot の無い場合とほぼ同様である。
- ・overshoot の起こらない場合は、最大渦度も循環も下流方向に一様に減衰していく。

参考文献

- (1)H. Sato, H. Saito Fine-structure of energy spectra of velocity fluctuations in the transition region of a two-dimensional wake, J. Fluid Mech., vol. 67(1975), pp. 539-559.

Fig. 4 Maximum vorticity

Fig. 5 Circulation of a vortex