

4039 前縁を波形に加工した水平平板の後流特性

Wake Characteristics of a Flat Plate with Wavy Leading Edge

○学 鈴木貴也 (北見工大院) 正 松村昌典 (北見工大)

Takaya SUZUKI, Graduate school of Kitami Inst. Tech., Kouen-cho 165, Kitami, Hokkaido
Masanori MATSUMURA, Kitami Inst. Tech., Kouen-cho 165, Kitami, Hokkaido

The separation shear layer shedding from the trailing edge of a flat plate rolls periodically at a specific Reynolds number and makes vortex wake. The vortex wake includes three dimensional structure with longitudinal vortex and involves various phenomena of turbulent flow. The purpose of this study is to show wake characteristics of a flat plate with wavy leading edge which makes initial three dimensional disturbance in the separation shear layer, especially to analyze the relation between wavelength of span direction and turbulent characteristics.

Key Words: Wake, Flat plate, Vortex formation, Three dimensional structure, Longitudinal Vortex

1.はじめに

一様流の中に水平平板を設置すると、平板後縁から放出されるはく離せん断層は、平板弦長を代表長さとするレイノルズ数がおよそ 700 以上のとき周期的に巻き上がり、渦列後流が形成される。この渦列は、さらに下流で三次元的に変形・崩壊し、十分発達した乱流後流となる⁽¹⁾。この様なはく離せん断層の巻き上がりによる渦形成から渦の成長・崩壊過程は、乱流の発生・発達過程を理解する上で重要な現象である。特に周期的な渦形成とその三次元崩壊過程は、後流の乱流特性と密接に関連するため、その機構の解明と制御が工学的に重要である。

渦の三次元崩壊は、流れに含まれる三次元擾乱の影響を強く受けるものと思われる。またこの三次元擾乱は周期的な渦形成にも影響を与える可能性がある。そこで本研究は、水平平板後縁から放出されるはく離せん断層に初期の三次元擾乱を与えるために、水平平板の前縁を波形に加工した。すなわち、水平平板の弦長をスパン方向に周期的に変化させることによって、水平平板の境界層に対して三次元擾乱を与え、この境界層が水平平板後縁ではく離することによって、はく離せん断層内に初期三次元擾乱を与えるものである。本研究の目的は、波形の波長(すなわち擾乱のスパン方向波長)が渦形成の周期性や後流特性に与える影響を明らかにすることとともに、この波長による後流特性の制御の可能性について検討することにある。

2.実験装置および方法

実験装置の概要と主な記号の定義を図 1 に示す。座標原点は流れに対し水平に設置した平板の後縁とし、主流方向

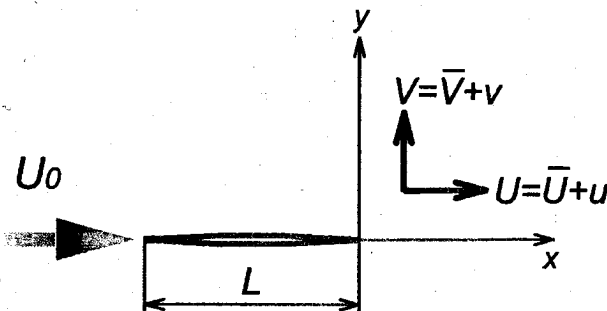


Fig.1 Definition of main symbols.

に x 軸、平板と垂直方向に y 軸、x、y 軸方向の瞬時速度をそれぞれ U、V とし、時間平均速度を \bar{U} 、 \bar{V} 、変動速度を u、v とする。

実験には測定部断面 350mm×350mm、長さ 1730mm の貫流型風洞を使用した。供試物体には、平均弦長 $L = 135\text{mm}$ 、スパン幅 350mm、最大厚さ 2.6mm の、前縁をスパン方向に振幅 $A = 15\text{mm}$ の波形に加工した波形水平平板を用いた。波形水平平板の概要を図 2 に示す。スパン方向波長 λ は $\lambda = 10\text{mm} \sim 50\text{mm}$ の範囲で 17 通りに変化させた。また波形加工の無い、通常の二次元平板 ($L = 135\text{mm}$) についても同様な実験を行い、本研究ではこの結果を添字 0 で表すことにする。なお、波形平板、二次元平板ともに、前縁、後縁はテーパ状のエッジに加工してある。

測定は、x 軸方向に $5\text{mm} \leq x \leq 90\text{mm}$ の範囲で 10 点、y 軸方向に $-20\text{mm} \leq y \leq 20\text{mm}$ の範囲で 61 点、z 軸方向に a、b、c の 3 点について行った。a、b、c の位置はそれぞれ波形平板の最大弦長、最小弦長、およびその平均の z 座標に対応し、本研究の結果は各 z 座標で得られた結果の 1 波長分の平均値で表した。実験時の主流速度は $U_0 \approx 4\text{m/s}$ 、L に基づくレイノルズ数は 37000、データ収集のサンプリング周波数は 20kHz、1 測定点におけるサンプリング点数は 100000 点とした。

3.実験結果と考察

図 3 に、v の卓越エネルギー(スペクトルの卓越周波数に

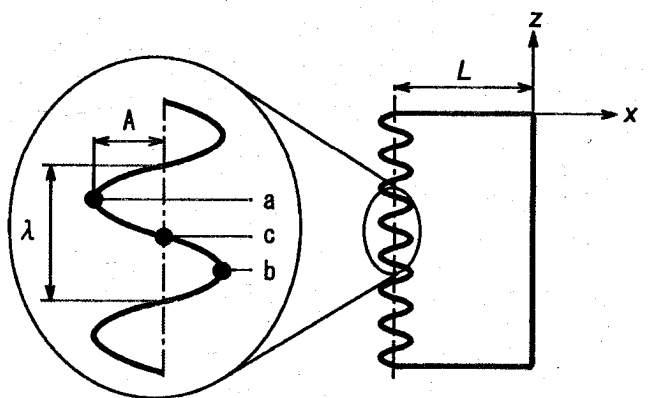


Fig.2 Flat plate with wavy leading edge.

おける卓越エネルギー分) E_p を示す。なお図中の等高線は、等比倍率の間隔(すなわち対数スケール)で描画しており、以下同様である。上流側では、 λ によって周期性が大きく変化していることがわかる。特に $\lambda/L=0.15, 0.24, 0.3$ のとき、二次元平板に比べて強い周期性が生じている。一方、 $\lambda/L < 0.12, 0.16 < \lambda/L < 0.2$ のとき、周期性は非常に弱くなっている。この λ による周期性の大きな変化の原因は、現時点では不明であるが、これは周期的な渦形成を促進あるいは抑制する制御方法の一つとして十分利用価値の高い結果であると思われる。一方下流側では、 λ に関わらず全体的に周期性は弱い。これは初期の三次元擾乱によって周期的な渦が早期に崩壊し、流れが乱流化するためと思われる。

図4にレイノルズせん断応力 τ_t を示す。ここで τ_t はレイノルズせん断応力 $-\rho \overline{uv}$ の y 方向の分布図における最大値と最小値の差 $1/2$ と定義とする。 $x/L < 0.2$ の上流側で τ_t/τ_{t0} は、図3で示した周期性の強い領域で大きいことがわかる。すなわちレイノルズせん断応力の生成には、周期的に形成される渦が大きく寄与していることがわかる。上流側でレイノルズせん断応力の大きい場合、そのすぐ上流ではむしろレイノルズせん断応力は小さくなっている。これは上流側でレイノルズせん断応力が大きい場合、後述する欠損速度の回復が早い(欠損速度が急減少する)ため、速度勾配が減少し、これが下流でのレイノルズせん断応力の減少の原因になっていると思われる。

一方、上流側において τ_t/τ_{t0} の小さい領域は、下流では逆に τ_t/τ_{t0} が大きくなっている。これは τ_t/τ_{t0} の小さい領域は図3に示したように、渦形成が遅いため、レイノルズせん断応力の小さい状態が下流方向に長く続く。したがって欠損速度の回復が遅いため、ある程度下流で渦形成が起こると、その位置ではまだ速度勾配が大きいため、その下流で急にレイノルズせん断応力が増加するものと思われる。

図5に U の最大欠損速度 U_d を示す。波形水平平板後縁近くのはく離直後では、 λ に関わらず、二次元平板とほぼ同一であることがわかる。しかしその下流では、 λ によって U_d/U_{d0} は大きく異なっている。図3で上流側の周期性が強く、図4で上流側のレイノルズせん断応力が大きくなる λ では、レイノルズせん断応力による運動量の混合・拡散作用により欠損速度が直ちに回復するため、 U_d/U_{d0} は急減少する。しかしさらにその下流では、速度勾配が減少することや、渦の3次元崩壊による不規則性の増大によって、レイノルズせん断応力が減少し、欠損速度の回復が遅れ、むしろ二次元平板よりも欠損速度は大きい状態が続いている。一方、図3で上流側の周期性が強く、図4で上流側のレイノルズせん断応力の小さくなる λ では、はく離直後から欠損速度の回復が遅れるために、かなり下流まで二次元平板よりも欠損速度の大きな領域が存在していることがわかる。

4. 結論

前縁を波形に加工した水平平板の後流特性は、波形の波長 λ によって大きく変化することがわかった。特に λ は渦形成の周期性の強さを変化させ、これがレイノルズせん断応力や欠損速度などの後流特性に大きな影響を与えていることがわかった。すなわちこれは λ による後流特性の制御の可能性を示唆している。

なお、実験装置の作成には北見工業大学技術部、佐藤敏則技術員の援助を受けた。ここに記して謝意を表す。

5. 参考文献

(1) H. Sato & H. Saito, J. Fluid Mech. 67, 1975, pp. 539-559.

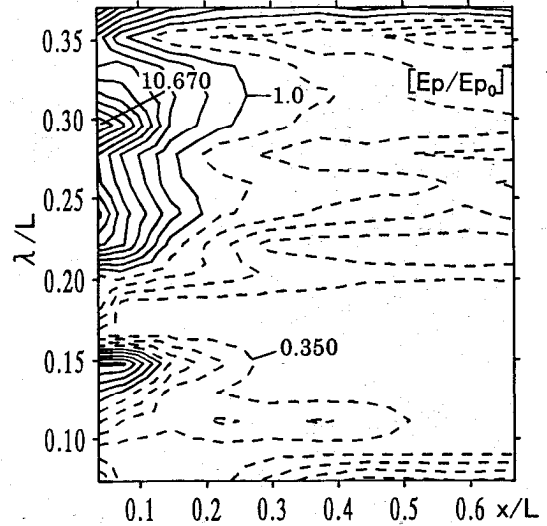


Fig.3 Prominent energy at spectrum peak.

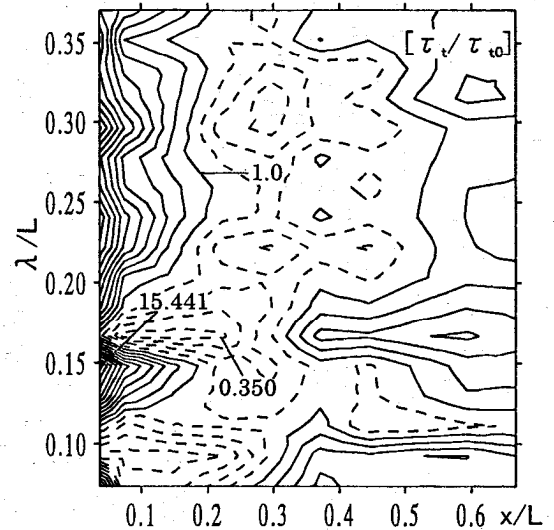


Fig.4 Reynolds shear stress.

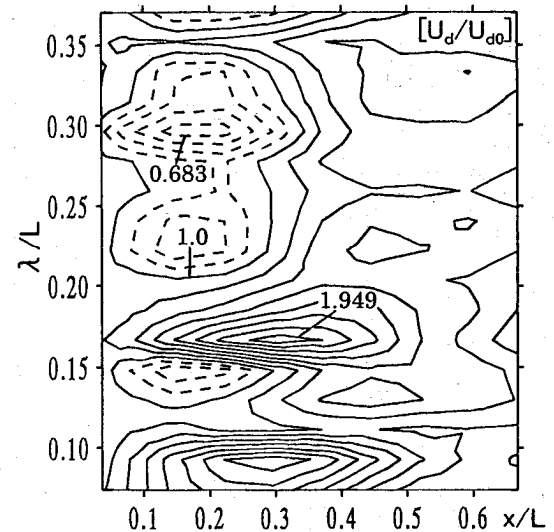


Fig.5 Defect Velocity.