平面壁上の迎え角をつけた有限幅傾斜平板まわりの流れ

Flow Past an Inclined Flat Plate of Finite Width with Attack Angle Placed on a Ground Plane

正 岡本 史紀 (芝浦工大)
正 田邊 昭則 (豊田自動織機)

正 加賀谷 春幸 (岡村製作所)
○学 久保田 直志 (芝浦工大大学院)

Shiki OKAMOTO, Shibaura Institute of Technology, 3-7-5 Toyosu, Koto-ku, Tokyo
Haruyuki KAGAYA, OKAMURA CORPORATION
Akinori TANABE, TOYOTA INDUSTRIES CORPORATION
Naoshi KUBOTA, Shibaura Institute of Technology

Key Words: Pressure Distribution, Vortex, Flow Visualization, Separation, Fluid Force, Flat Plate, Finite Width

1. 緒言

近年、環境問題に関連して建築物、防音へい等の二次元模型についての風洞実験がしばしば行われている。しかし実際に多く見られる防風フェンス、航空機のスポイラーなどのような有限幅の三次元平板では平板側面から背後への流れ込みが存在するため、二次元平板とは周辺の流れ特性は大きく異なることが予想される。

坂本ら⁽¹⁾、岡本ら⁽²⁾は有限幅比の増減が平板の表面圧力、抗力係数、平面壁上の圧力分布、渦放出パターンを変化させることを報告した。これらは平板が全て平面壁上に直立している場合の報告であり、前方傾斜、後方傾斜の場合も実際には多く見られる。さらに今までの報告は主流に対して迎え角がない場合の報告であり、通常迎え角がつく場合も多い。

本研究では、その結果に基づいて迎え角をつけた有限幅傾斜平板について、アーチ渦生成限界への傾斜角の影響及び表面圧力、抗力・揚力係数、平面壁上のフローパターンへの傾斜角の影響について明らかにする。

2. 実験装置及び実験方法

本実験では平板および平面壁上の表面圧力測定、平板後方の変動速度のX方向成分のパワースペクトル測定、流れの可視化観察に際して3種類の実験装置を用いた。圧力測定では有限幅比(有限幅W、平板高さH) $W/H=2, 4, 7$ の3種類の平板を各々傾斜角 $\beta=30^\circ, 45^\circ, 60^\circ, 90^\circ, 120^\circ, 135^\circ, 150^\circ$ の7種類、さらにそれらの各々について迎え角を $\alpha=0^\circ, 30^\circ, 45^\circ, 60^\circ$ の4種類に変え実験を行なった。実験条件と平板の幾何学的形状を表1、図1に示す。

Table1. Experimental parameters

実験	H	U_∞	Re
圧力測定	50 mm	15 m/s	5.11×10^4
フローパターン観察	30 mm	5 m/s	9.92×10^3
渦の可視化観察	30 mm	2 cm/s	5.97×10^2

Fig1. Apparatus and nomenclature

3. 実験結果及び考察

3-1 $W/H=4$ の場合の平板表面圧力分布

図2に $W/H=4$ の平板について、迎え角 $\alpha=45^\circ$ における各傾斜角の平板前面および背面に対する表面圧力分布を示す。前面圧力分布を見ると、全ての傾斜角において上流側側端($S/H=-2$)から下流側側端($S/H=2$)に向かって圧力が低下している。また、平板を後方に傾斜させるにつれ平板の上方と下方で圧力差が大きくなり、平板の傾斜に沿う流れが強まることわかる。背面圧力分布を見ると、 $\beta=45^\circ$ では $S/H=-1.2$ 、 $T/H=0.85$ 付近に大きな負圧が見られる。また圧力の回復が

$\beta=45^\circ$ では $T/H=0.05$ 、 $\beta=90^\circ$ では $T/H=0.05, 0.25$ の $S/H=-0.7 \sim -0.2$ 付近で見られる。しかし平板を後方に傾斜させた $\beta=135^\circ$ では上流側側端から $S/H=-0.4$ 付近まで圧力は低下するが、その後下流側側端に向けて圧力が急激に上昇し、 $S/H=1.7$ 付近で最大圧力値に達することがわかる。

Fig2. Surface pressure distribution ($W/H=4$)

3-2 平板の抗力係数、揚力係数

図3、図4に $W/H=2, 4, 7$ における平板前面及び背面の圧力分布から求めた抗力係数 C_D 、鉛直方向(Z方向)の揚力係数 C_L の傾斜角による変化を示す。尚、 C_L はZ方向を正としている。図3より、 $\alpha=45^\circ$ の場合を除いて抗力係数は $\beta=90^\circ$ で最大で、 $W/H=2, 4$ の $\alpha=45^\circ$ では、 $\beta=60^\circ$ で最大になる。図4より、揚力係数は迎え角に関わらず、変化のしかたがほぼ同じであることがわかる。前方に傾斜するにつれて上向き(Z軸のプラス方向)に増加し、後方に傾斜すると下向き(Z軸のマイナス方向)に増加するが、後方傾斜の場合、 $\beta=135^\circ$ 付近で最小値となり、その後回復する傾向がある。

3-3 平面壁上の平板まわりのフローパターン

図5に表面塗布法によって可視化した $W/H=4$ の場合の平面壁上の平板まわりのフローパターンおよび等静圧線図を示す。岡本ら⁽⁴⁾の $\alpha=0^\circ$ の場合の実験結果とは異なり、いずれの傾斜角においても平板背面に一つの粉だまりが見られる。これは迎え角をつけたことにより、アーチ渦が消滅し上流側側端からのはく離渦のみになっているからである。 $\beta=45^\circ$ では粉だまりは上流側側端に見られ、傾斜角を大きくすると下流側へ移動する。これは傾斜角を大きくすることで、平板の傾斜に沿う流れが強まったためである。そして粉だまりの下流には一筋の縞が確認できる。また、平面壁上の等静圧線図において $\alpha=0^\circ$ の直立平板の場合では一対の最小圧力領域が見られた⁽³⁾が、一つの最小圧力領域へと変化している。 $\beta=45^\circ$ では平板の上流側側端付近に狭い負圧領域があり、これはフローパターンにおける粉だまりの位置と一致している。 $\beta=90^\circ, 135^\circ$ となるに従いスパン方向下流側へその範囲

Fig3. Drag coefficient

Fig4. Lift Coefficient

は広がっていく。さらに、この等静圧線図の谷間は粉だまりの後方に見られる一筋の縞と位置がよく一致している。

図6に $W/H=4$ の場合の渦生成の様子を示す。(a)の $\beta=45^\circ$ の場合では平板上端からはく離渦は、随伴渦のような渦として流出していることがわかる。(b)の $\beta=60^\circ$ になると、そのはく離渦はさらに大きくなり、渦の巻き込みが強まり、渦度が増している様子がうかがえる。(c)の $\beta=90^\circ$ になると、 $\beta=60^\circ$ の場合に比べてはく離渦も小さくなり、渦の巻き込みも弱まる。(d)の $\beta=135^\circ$ では平板傾斜方向に沿う流れが強まり、平板上端からはく離渦は巻き込みも弱まり、平板下流で消滅している様子が見られる。

Fig5. Flow pattern and Pressure distribution on ground plane

3-4 渦の生成と消滅

岡本らは迎え角がない場合、 $W/H=2,4$ の $\beta=60^\circ \sim 90^\circ$ でアーチ渦が放出されることを報告した⁽⁴⁾。また、迎え角をつけた場合、 $W/H=2,4$ の直立平板において迎え角 $\alpha \leq 30^\circ$ でアーチ渦が生成されることを報告した⁽³⁾。そこで図6,図7に $W/H=2,4$ の $\alpha=30^\circ$ の場合におけるパワースペクトルを示す。 $W/H=2$ の場合、 $\beta=45^\circ \sim 120^\circ$ では両側端後方でピークが見られ、アーチ渦が流出しており、 $\alpha=0^\circ$ のときと比べて $\alpha=30^\circ$ ではピークが見られる範囲が広がっていることがわかる。

$W/H=4$ の $\alpha=30^\circ$ の場合では、 $\beta=90^\circ$ のみピークが見られ、アーチ渦が生成されているが、 $\alpha=0^\circ$ のときと比べて狭まっている。以上より、アーチ渦の生成は迎え角をつけることによって平板の有限幅比が大きくなると、傾斜角による影響が顕著に現れる。

Fig6. Vortices ($W/H=4, \alpha=45^\circ$)

Fig7. Power spectrum ($W/H=2, \alpha=30^\circ, Z/H=0.5$)

Fig8. Power spectrum ($W/H=4, \alpha=30^\circ, Z/H=0.5$)

4. 結言

本研究により得られた結果を要約すれば次の通りである。

- (1) 抗力係数は $\alpha=45^\circ$ の場合を除いて $\beta=90^\circ$ で最大となる。また揚力係数は前方に傾斜するにつれて上向きに増加し、後方に傾斜すると下向きに増加するが、 $\beta=135^\circ$ 付近で最小値となり、その後回復する。
- (2) 迎え角 $\alpha=30^\circ$ の場合は、アーチ渦が生成される傾斜角の範囲は迎え角をつけない場合に比べて $W/H=2$ の場合は広がり、 $W/H=4$ では狭まる。
- (3) 迎え角をつけた場合、平板上流側側端からはく離渦は平板の有限幅比が大きくなるにつれ傾斜角による変化が顕著に現れる。

参考文献

- (1) 坂本弘志・森谷優・有江幹男, 乱流境界層内におかれた鈍い物体周辺の流れに関する研究(第2報, 傾斜平板に作用する流体力), 機論 42-357,B (1976), 1442-1451.
- (2) 岡本ら, 平面壁上の有限幅直立平板まわりの流れ, 機論, 71-11(2005), 2663-2670
- (3) 岡本ら, 平面壁上の有限幅直立平板まわりの流れ及ばす迎え角の影響, 機論, 72-714,B(2006), 322-330
- (4) 岡本ら, 平面壁上の有限幅傾斜平板まわりの流れ, 機講論, No.067-1(2006), 345-346