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*

岡 本 史 紀^{*1}, 加賀谷 春 幸^{*2}
田 邊 昭 則^{*3}, 久保田 直 志^{*4}

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

Shiki OKAMOTO^{*5}, Haruyuki KAGAYA,
Akinori TANABE and Naoshi KUBOTA^{*5} Department of Mechanical Engineering, Shibaura Institute of Technology,
3-7-5 Toyosu, Koto-ku, Tokyo, 135-8548 Japan

This paper describes the flow past an inclined flat plate of finite width with the attack angle placed on a ground plane. The experiment was carried out in the 800 mm diameter Eiffel type wind tunnel having the working section of 1.5 m length at Reynolds number of 5.1×10^4 mainly. The surface pressure distributions on the flat plate and on the ground plane around the flat plate were measured, and the drag coefficient, lift coefficient and side force coefficient were determined from them. The power spectrum of the X component of fluctuating velocity was measured to check the arch vortices shedding behind the flat plate. Consequently, it is found that the appearance of shedding arch vortices is in the range of $45^\circ \leq \beta \leq 120^\circ$ for $W/H=2$ and $\beta=90^\circ$ for $W/H=4$ when $\alpha=30^\circ$, while the drag coefficient attains maximum near $\beta=90^\circ$ and the lift coefficient decreases for $W/H=2, 4$ and 7, as β increases from 30° to 135° .

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, 土盛りされた高速道路, または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, 航空機のスポイラなどは平板でも有限幅であるため, その周辺の流れは平面壁上の二次元平板の結果をそのまま用いることはできない。こ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, 平板上方から背後への流れ込みのみしか存在しない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⁾⁽²⁾, 岡本⁽³⁾, 岡本ら⁽⁴⁾は平板幅 W の平板高さ H に対する比, すなわち有限幅比 W/H 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。これらの報告は平板がすべて平面壁上に直立している場合の報告である。

しかし斜面上に平板が設置されている場合など平板が平面壁に対して直立ではなく, 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すべて主流に対して平板が正面に面している(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。岡本らは前報において, 一樣流中の有限幅直立平板まわりのアーチ渦消滅と生成限界への迎え角の影響, および有限幅直立平板の表面圧力, 抗力・揚力係数, 平面壁上のフローパターンへの迎え角の影響について実験的に明らかにした⁽⁵⁾。その結果迎え角が $\alpha=0\sim30^\circ$ までの直立平板は, $W/H=4\sim7$ の範囲内にアーチ渦の生成限界があり, $\alpha=45^\circ$ 以上では $W/H=2, 4$ の場合でもアーチ渦が生成されないことを明らかにした。

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および表面圧力, 抗力・横力・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。

記 号

C_D, C_L, C_S : 平均抗力係数, 平均揚力係数, および平均横力係数

* 原稿受付 2006年5月19日。

^{*1} 正員, 芝浦工業大学工学部(☎ 135-8548 東京都江東区豊洲 3-7-5)。^{*2} (株)岡村製作所(☎ 220-0004 横浜市区北幸 1-4-1)。^{*3} (株)豊田自動織機(☎ 448-8671 刈谷市豊田町 2-1)。^{*4} 学生員, 芝浦工業大学大学院工学研究科。

E-mail: okamoto@sic.shibaura-it.ac.jp

Fig. 1 Schema of apparatus and nomenclature

C_P : 圧力係数 $= (P - P_{\infty}) / [(1/2)\rho U_{\infty}^2]$

C_{P1}, C_{P2} : 平板前面と背面の圧力係数

H : 傾斜に沿った平板長さ mm

n : 振動数 Hz

P, P_{∞} : 静圧, および主流の静圧 Pa

Re : レイノルズ数 $= HU_{\infty} / \nu$

U_{∞} : 主流速度 m/s

W : 平板幅 mm

X, Y, Z, S, T : 平板の前面底辺中央を原点とする座標軸, 流れ方向に X 軸, 流れに直角な水平方向に Y 軸, 鉛直方向に Z 軸, 平板のスパン方向に S 軸, 傾斜方向の上向きに T 軸をとる(図1).

α : 主流に対する迎え角 $^{\circ}$

β : 平面壁に対する傾斜角 $^{\circ}$

2. 実験装置および実験方法

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の測定, 流れの可視化観察に際して前報⁽⁴⁾⁽⁵⁾と同じ実験装置を用いた. 平板の幾何学的形状は長さ $H=50$ mm, 有限幅比 $W/H=2, 4, 7$ の3種類の平板をおおの傾斜角 $\beta=30, 45, 60, 90, 120, 135, 150^{\circ}$ の7種類, さらにそれらのおおのについて迎え角を $\alpha=0, 30, 45, 60^{\circ}$ の4種類に変え実験を行った. 平板の表面圧力, 平面壁上の平板まわりの静圧の測定には精密微差圧計を用いた. 実験は主流速度 $U_{\infty}=15$ m/s 付近とし, 平板長さを代表長さにとるとレイノルズ数 $Re = HU_{\infty} / \nu = 5.1 \times 10^4$ のもとで行った. 平板の近傍後流におけるパワースペクトルの測定では定温度形熱線流速計とFFTアナライザを用いた. 実験は主流速度 $U_{\infty}=5$ m/s, $Re=9.92 \times 10^3$ のもとで行った.

3. 実験結果および考察

3・1 平板表面圧力分布 図2, 3に $W/H=2, 4$ 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. 図2より $W/H=2$ の場合では前面の圧力分布を見ると,

すべての傾斜角において上流側側端($S/H=-1$)から下流側側端($S/H=1$)に向かって圧力が低下していることがわかる. これは迎え角をつけることで最大圧力となる位置も移動し, さらに上流側側端から下流側側端に沿う流れが強まるからである. また平板を後方に傾斜させるにつれ, 平板上方と平板下方の圧力差が大きくなり, 平板の傾斜に沿う流れが強まる. 他方, 背面圧力を見ると, $\beta=45^{\circ}$ において平板下端部下流側付近で圧力の回復が, また, $S/H=-0.4, T/H=0.85$ で大きな負圧が見られる. さらに $\beta=90, 135^{\circ}$ になると $S/H=-1$ から $S/H=1$ に向けて圧力はわずかに低くなるが, ほとんど傾斜方向(T 軸方向)に変化はない.

次に図3に示す $W/H=4$ の平板の前面圧力分布を見ると, 図2の $W/H=2$ の場合とほぼ同様であり, 背面圧力を見ても, $\beta=45^{\circ}$ 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, $W/H=2$ の場合と同様, 平面壁付近のその位置に圧力の高い部分があることを示している. しかしながら平板を後方に傾斜させた $\beta=135^{\circ}$ では $W/H=2$ の場合とは大きく異なり, 平板上流側側端から $S/H=-0.4$ 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.

迎え角 $\alpha=45^{\circ}$ の場合の $W/H=2$ の平板前面および背面に対する表面圧力分布から描いた等静圧線図を図4に示す. 前面では $\beta=45^{\circ}$ で平板上流側下方($S/H=-0.7, T/H=0.1 \sim 0.3$ 付近)に圧力の高い部分が現れるが, 全体としては $S/H=-1$ から $S/H=1$ に向けて圧力が低下している. $\beta=90^{\circ}$ の場合は, 平板前面でも上流側から下流側に平板に沿って流れがあることがうかがえる. そして後方に傾斜させた $\beta=135^{\circ}$ では, 下流側側端($S/H=1$)に向けて圧力が低下し, さらに平板上方に向かって緩やかに圧力が低下していることがわかる. したがってこの場合は平板に沿って流れは上流側下方から下流側上方に向けて斜め上方に向かっていることが推察される. 他方, 背面では $\beta=45^{\circ}$ において $S/H=-0.2$ の平板上端付近に最低圧力領域が見られる. 全体としては平板上方に向けて圧力の低下が見られ, $S/H=0.6, T/H=0.05$ 付近に圧力の高い領域が見られる. さらに $\beta=90, 135^{\circ}$ では平板表面での圧力差はわずかであるが, 傾斜角が $\beta=90^{\circ}$ から 135° へと増加するに従い圧力が低下する領域は下流側全体から下流側上部へと変化する.

Fig. 2 Surface pressure distribution ($W/H=2$, $\alpha=45^\circ$) Fig. 3 Surface pressure distribution ($W/H=4$, $\alpha=45^\circ$)

次に $W/H=4$ の平板について、迎え角 45° の場合の平板前面および背面に対する等静圧線図を図5に示す。前面圧力では $\beta=45, 60^\circ$ の場合には最大圧力となる領域が $S/H=-1.7$, $T/H=0.1$ 付近に現れる。全体としては $W/H=2$ の場合と同じく、 $S/H=-2$ から $S/H=2$ に向けて圧力が低下している。さらに $\beta=90, 135^\circ$ でも $W/H=2$ の場合と同様である。他方、背面では $\beta=45^\circ$ の場合、 $S/H=-1.2$, $T/H=0.9$ 付近で圧力が低下する領域が見られ、下流側側端に向かうにつれ、圧力は高くなる。この低圧領域は $\beta=60^\circ$ の場合 $S/H=-2$ から $S/H=0$ へかけて最も低下し急激に広い領域となり、下流側側端の $S/H=2$ へ向けて圧力は高くなる傾向がある。これは上流側側端からはく離渦と上端からの横渦が干渉して、圧力が低下する部分が急激に広がるものと思われる。この負圧領域は $\beta=90^\circ$ の場合ではほぼ平板の左半分の一定の広い領域となり、 $W/H=2$ の場合と異なり、 $S/H=1\sim2$ の下流側側端に向かうにつれて、圧力は回復する。さらに $\beta=135^\circ$ になると低圧部は $S/H=-1\sim0$ 付近の領域に移り、その下流側ではやはり圧力は高くなる。

Fig. 4 Surface pressure distribution on flat plate ($W/H=2$, $\alpha=45^\circ$)

$W/H=2$ の場合、背面は全体として圧力が低い領域で占められていたのに対し、 $W/H=4$ の場合、背面は下流側側端に向かうにつれ、圧力が回復する傾向が見られる。

さらに $W/H=7$ の平板について、迎え角 45° の場合の平板前面および背面に対する等静圧線図を図6に示す。前面圧力では $W/H=2, 4$ の場合と同様、前方に傾斜させている場合には圧力が高い領域が $S/H=-3.1$ 付近の平板下端部に現れる。また、 $\beta=90, 135^\circ$ では平板上端で圧力の低下が見られる。背面では、 $\beta=45^\circ$ の $S/H=-3.0\sim-2.5$ の平板上端付近で圧力の低い領域が見られる。この圧力の低い領域は傾斜角の増加に伴って変化し、 $\beta=90^\circ$ では平板の左半分となる。さらに $\beta=135^\circ$ ではこの領域は $S/H=-3.5$

Fig. 5 Surface pressure distribution on flat plate ($W/H=4$, $\alpha=45^\circ$)

～1.7あたりの $T/H=0\sim1$ の領域に変化し、平板の右半分は一定の圧力の高い領域に変わる。

3.2 平板の抗力係数, 揚力係数, 横力係数 図7～9に平板前面および背面の圧力分布から求めた抗力係数 C_D 、主流に対して垂直な方向 (Y 方向) の横力

Fig. 6 Surface pressure distribution on flat plate ($W/H=7$, $\alpha=45^\circ$)

係数 C_S 、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。 C_{P1} 、 C_{P2} を平板前面、背面の圧力係数とすると C_D 、 C_L 、 C_S はそれぞれ式 (1)～(3)

$$C_D = \int_0^1 \int_{-0.5}^{0.5} (C_{P1} - C_{P2}) \cos \alpha \sin \beta d(S/W) \times d(T/H) \dots\dots\dots (1)$$

$$C_S = \int_0^1 \int_{-0.5}^{0.5} (C_{P1} - C_{P2}) \sin \alpha \sin \beta d(S/W) \times d(T/H) \dots\dots\dots (2)$$

$$C_L = \int_0^1 \int_{-0.5}^{0.5} (C_{P1} - C_{P2}) \cos \beta d(S/W) d(T/H) \dots\dots\dots (3)$$

より求められる。なお、 C_S は $-Y$ 方向、 C_L は Z 方向を正としている。

図7に $W/H=2, 4, 7$ における抗力係数 C_D の傾斜角による変化を示す。全体的な傾向としては、 $\alpha=45^\circ$

(a) $W/H=2$ (b) $W/H=4$ (c) $W/H=7$

Fig. 7 Drag coefficient

(a) $W/H=2$ (b) $W/H=4$ (c) $W/H=7$

Fig. 8 Side force coefficient

(a) $W/H=2$ (b) $W/H=4$ (c) $W/H=7$

Fig. 9 Lift coefficient

の場合を除いて迎え角にかかわらず、抗力係数は $\beta=90^\circ$ で最大で、前方・後方どちらに傾斜しても減少しており、前方に比べ後方に傾斜したほうが値は小さくなっている。これは、図 2, 3 で述べたように平板が後方に傾斜すると前面圧力が大きく低下することが影響している。また、 $W/H=2, 4$ では $\alpha=45^\circ, \beta=60^\circ$ の場合に特に大きくなっているが、これは図 5 に示したように背面圧力が $\beta=60^\circ$ のとき大きく低下しているためである。また $\alpha=60^\circ$ の場合が、他の迎え角の場合と比較して抗力係数はかなり小さい値である。図 8 に横力係数 C_S の傾斜角による変化を示す。当然のことながら $\alpha=0^\circ$ のとき、値は零である。横力係数の変化は抗力係数の場合と同様の傾向が見られ、 $\alpha=45^\circ$ の場合を除いて $\beta=90^\circ$ のとき最大となり、前方・後方に傾斜すると横力係数は減少し、前方に比べ後方に傾斜したほうが値は小さくなっている。迎え角が $\alpha=30^\circ$ の場合の結果が $\alpha=45^\circ, 60^\circ$ の場合と比べて横力係数の値は小さく、傾斜角による変化も $\alpha=45^\circ, 60^\circ$ の場合と比べて少ない。また、前方・後方に大きく傾斜するほど迎え角による違いが小さくなっている。

図 9 に揚力係数 C_L の傾斜角による変化を示す。全体的には抗力係数、横力係数とは異なり迎え角にかかわらず、変化のしかたはほぼ同じである。前方に傾斜

(a) $\beta=45^\circ$ (b) $\beta=90^\circ$ (c) $\beta=135^\circ$ Fig. 10 Flow pattern on ground plane ($W/H=2, \alpha=45^\circ$) (a) $\beta=45^\circ$ (b) $\beta=90^\circ$ (c) $\beta=135^\circ$ Fig. 11 Flow pattern on ground plane ($W/H=4, \alpha=45^\circ$)

(a) $\beta=45^\circ$ (a) $\beta=45^\circ$ (a) $\beta=45^\circ$ (b) $\beta=90^\circ$ (b) $\beta=90^\circ$ (b) $\beta=90^\circ$ (c) $\beta=135^\circ$ (c) $\beta=135^\circ$ (c) $\beta=135^\circ$ Fig. 12 Pressure distribution on ground plane ($W/H=2$, $\alpha=45^\circ$)Fig. 13 Pressure distribution on ground plane ($W/H=4$, $\alpha=45^\circ$)Fig. 14 Pressure distribution on ground plane ($W/H=7$, $\alpha=45^\circ$)

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。また $\alpha=45, 60^\circ$ の $\beta=30\sim 45^\circ$ の範囲でピーク値をとり、 $\beta=0^\circ$ で零になるように減少するものと思われる。

3・3 平面壁上の平板まわりのフローパターン

歯磨き粉の溶液を用い表面塗布法によって可視化した $W/H=2, 4$ の $\alpha=45^\circ$ の場合の平板における平面壁上の平板まわりのフローパターンを図 10, 11 に示す。岡本ら⁽⁵⁾ によると $\alpha=0^\circ$ の場合では、直立平板の後方に左右両側端からはく離するアーチ渦の縦渦の下端部である二つの対称な粉だまりが確認された。しかし図 10 に示す $W/H=2$ の場合、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に移動した側端からはく離渦のみになっている。 $\beta=45^\circ$ では粉だまりは上流側側端に見られる。この位置は図 2 において平板上流側の側端で圧力が低下する部分と位置が一致しており、上流側側端からの活発なはく離渦により圧力が低下すると考えられる。傾斜角を大きくすると粉だまりは下流側に移動する。 $\beta=90^\circ$ では $\beta=45, 135^\circ$ に比べて大きな粉だまりとなり、平板背面全体にわたって粉だまりが確認できる。これは平板背面が上流側側端からはく離渦に覆われていることを示し、図 2 においてスパン方向に背面圧力が変化しない結果と密接に関連する。 $\beta=135^\circ$ では粉だまりも平板中央よりやや下流側に移り、小さいものとなる。

図 11 の $W/H=4$ の場合では $W/H=2$ の場合と同様、どの傾斜角においても平板後方に一つの小さな粉

だまりが確認でき、傾斜角が大きくなるにつれ、下流側に移動する。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。そしてこの粉だまりの下流には一すじのしまが確認でき、その位置は背面圧力が回復する位置とほぼ一致する。

次に平面壁上の平板まわりのフローパターンをのようすを詳しく検討するために $W/H=2, 4, 7$ の $\alpha=45^\circ$ における平面壁上の等静圧線図を図12~14に示す。 $\alpha=0^\circ$ の直立平板($\beta=90^\circ$)の場合では閉じた等圧線で示される一対の最小圧力領域が見られた⁽⁶⁾。しかし図12の $W/H=2$ の $\alpha=45^\circ$ の場合では、一対の最小圧力領域は一つの最小圧力領域へと変化する。まず $\beta=45^\circ$ では平板上流側の側端に範囲の狭い負圧領域があり、これは $W/H=4, 7$ の場合でも同様であるが、フローパターンにおける粉だまりや平板背面圧力分布で圧力が低くなっている位置とも一致している。上流側の側端からのはく離渦、すなわち随伴渦のような渦が流出しており、そのはく離渦により渦度が強まり、平面壁上でも圧力が大きく低下している。また、 $\beta=90, 135^\circ$ では背面全体が負圧領域に覆われており、背面圧力分布においてはスパン方向に大きな圧力の変化は見られないことを裏付けている。

図13の $W/H=4$ の場合でも $\beta=45^\circ$ では平板上流側の側端付近に狭い負圧領域があるが、 $\beta=90, 135^\circ$ となるに従いスパン方向下流側へその範囲は広がっていく。さらに、 $W/H=7$ の場合も同様であるがこれらの一つの最小圧力領域のスパン方向へ等圧線がしま状に現れており、この等静圧線図の谷間はフローパターンで述べた、一つの粉だまりの後方に見られる一すじのしまと位置がよく一致している。

図14の $W/H=7$ の場合でも上流側の側端付近に一

つの最小圧力領域があり、傾斜角が増すに従いその範囲はスパン方向プラス側へ広がっていることがわかる。以上述べたように、平面壁上の平板まわりの等静圧線図では $W/H=2$ の $\beta=90^\circ, 135^\circ$ の場合、 $W/H=4, 7$ の場合とは異なり、図2の表面圧力分布、図4の等静圧線図の背面圧力でも示されていたように、平板上流側側端からのはく離渦によって背面全体が負圧領域に覆われ、スパン方向に大きな圧力の変化は見られない。一方、 $W/H=4, 7$ の場合では図3の表面圧力分布、図5, 6の等静圧線図の背面圧力でも示されているように、平板上流側側端からのはく離渦によって生じる負圧領域は傾斜角が増すにつれ、スパン方向下流側へ広がっていくが、背面全体が覆われることはなく、下流側側端付近では圧力の回復が見られる。したがってこれらの有限幅比による傾斜角に対する変化の違いは渦生成にも影響をもたらすものと思われる。

一例として図15に $W/H=4$ の場合の平板後方の渦生成のようすを示す。可視化観察に用いた実験装置(回流水槽)、実験条件は前報⁽⁵⁾と同じである。(a)の $\beta=45^\circ$ の場合では平板上端からのはく離渦は、先に述べた随伴渦のような渦として流出していることがわかる。傾斜角を増し、(b)の $\beta=60^\circ$ になると、そのはく離渦はさらに大きくなり、渦の巻込みが強まり、 $\beta=$

Fig. 15 Vortices ($W/H=4, \alpha=45^\circ$)

Fig. 16 Power spectrum ($W/H=2, \alpha=30^\circ, Z/H=0.5$)

Fig. 17 .Power spectrum ($W/H=4$, $\alpha=30^\circ$, $Z/H=0.5$)

45° の場合に比べて渦度が増しているようすがうかがえる。さらに(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、渦の巻込みも弱まるようになる。最後に(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渦の巻込みも弱まり、平板下流で消滅しているようすが見られる。以上の結果から、 $W/H=4$ の平板では $\beta=60^\circ$ において、平板上端からはく離渦は最も大きく、渦の巻込みが強いことが明らかであり、これが図5(b)に示した平板背面の負圧領域の結果と密接な関係にあることを裏付けている。

3・4 渦の生成と消滅 岡本らは迎え角がない($\alpha=0^\circ$)場合、 $W/H=2, 4$ の平板では $\beta=60\sim 90^\circ$ で平板後方にアーチ渦が放出されることを報告した⁽⁶⁾。また、迎え角をつけた場合、 $W/H=2, 4$ の $\beta=90^\circ$ の直立平板において迎え角 $\alpha\leq 30^\circ$ の範囲ではアーチ渦が生成され、迎え角 $\alpha\geq 45^\circ$ の範囲では平板後方にアーチ渦が生成されず、下流側の側端より流れ方向に軸をもつ随伴渦のような渦が生成されることを報告した⁽⁵⁾。そこで、迎え角をつけた場合の $W/H=2, 4$ における傾斜平板後方のアーチ渦の生成の有無をパワースペクトルの測定を行うことにより明らかにする。パワースペクトルは流出渦の振動数に相当する周波数で鋭いピークをもつことが知られている。したがってパワースペクトル曲線においてピークの存在の有無は周期的な渦流出の有無を意味する。

図16は $W/H=2$ の $\alpha=30^\circ$ の場合における平板後方のパワースペクトルを示す。(a)の $\beta=30^\circ$ では両側端後方にピークは現れない。しかし、(b)~(e)の $\beta=45\sim 120^\circ$ では両側端後方でピークが現れ、周期的な渦流出が存在することがわかる。このことは $\beta=45\sim 120^\circ$ では平板からアーチ渦が流出していることを示している。 $\alpha=0^\circ$ の場合と比べて $\alpha=30^\circ$ の場合で

はピークが見られる β の範囲が広がっている。さらに(f)の $\beta=135^\circ$ になるとピークが現れず、周期的な渦流出が存在しないことを示している。 $\alpha=45^\circ$ の場合についても調べたが前述の直立平板($\beta=90^\circ$)と同様、平板両側端後方にピークが見られず、アーチ渦は消滅している。

図17は $W/H=4$ の $\alpha=30^\circ$ の場合の平板後流のパワースペクトルを示す。図17(a)の $\beta=60^\circ$ では $W/H=2$ のときと異なり、ピークが見られないが、(b)の $\beta=90^\circ$ では平板両側端後方にピークが見られ、アーチ渦が生成されている。さらに(c)の $\beta=120^\circ$ では下流側側端後方のみピークは見られ、下流側側端からのみ渦が生成されており、アーチ渦は生成されていないことを示している。

以上のことから、 $W/H=2$ の平板では $\alpha=30^\circ$ において $\beta=45\sim 120^\circ$ でアーチ渦が生成されるが、 $W/H=4$ の平板では $\alpha=30^\circ$ において $\beta=90^\circ$ の場合のみアーチ渦が生成される。これ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 $\alpha=0^\circ$ の $\beta=60\sim 90^\circ$ に対し、 $\alpha=30^\circ$ の迎え角をつけたことによって $W/H=2$ の場合では $\beta=45\sim 120^\circ$ のように広がり、 $W/H=4$ の場合では $\beta=90^\circ$ のように $W/H=2$ の場合とは反対に狭まることを表している。迎え角 $\alpha=30^\circ$ のとき、平板上流側側端からはく離渦によって、 $W/H=2$ の平板では平板全体が覆われることによって、アーチ渦生成範囲が $\alpha=0^\circ$ の場合よりも広がり、他方 $W/H=4$ の平板では平板有限幅比が大きいため、はく離渦によって平板が覆われないため、傾斜角の影響が現れ、アーチ渦生成範囲は狭まったと推察される。したがってアーチ渦の生成は、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。

4. 結 論

本研究によって得られた結果を要約すれば次のとおりである。

(1) 抗力係数は全体的な傾向として、 $\alpha=45^\circ$ の場合を除いて $\beta=90^\circ$ で最大で、前方・後方どちらに傾斜しても減少しており、前方に比べ後方に傾斜したほうが値は小さくなっている。横力係数は $\alpha=45^\circ$ の場合を除いて $\beta=90^\circ$ のとき最大となり、前方・後方に傾斜すると減少し、前方に比べ後方に傾斜したほうが値は小さくなる。また、前方・後方に大きく傾斜するほど迎え角による変化が小さくなる。揚力係数は全体的には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。

(2) 迎え角 $\alpha=30^\circ$ の場合は $W/H=2$ の平板では $\beta=45\sim 120^\circ$, $W/H=4$ の平板では $\beta=90^\circ$ でアーチ渦が生成されるが, $\alpha=45^\circ$ ではアーチ渦が生成されない。これ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, $W/H=4$ の場合では反対に狭まる。

(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平板全体を覆わないため傾斜角による変化が顕著に現れる。

文 献

- (1) Sakamoto, H., Arie, M., Moriya, M. and Taniguchi, S., Flow Around a Normal Plate of Finite Width Immersed in Turbulent Boundary Layer: 1st Report, Pressure and Drag Acting on Plate, *Trans. JSME*, Vol. 48, No. 433, B (1982), pp. 1674-1682.
- (2) Sakamoto, H., Arie, M., Moriya, M. and Taniguchi, S., Flow Around a Normal Plate of Finite Width Immersed in Turbulent Boundary Layer: 2nd Report, Strouhal Number and Flow Pattern, *Trans. JSME*, Vol. 48, No. 433, B (1982), pp. 1683-1691.
- (3) Okamoto, S., Experimental Investigation of Flow Past Bluff Body of Square Section Placed on Ground Plane, *Trans. JSME*, Vol. 50, No. 457, B (1984), pp. 2068-2076.
- (4) Okamoto, S., Kobayashi, M., Kadono, T., Kagaya, H. and Shimane, A., Flow Past a Flat Plate of Finite Width Placed Vertically on Ground Plane, *Trans. JSME*, Vol. 71, No. 711, B (2005), pp. 2663-2670.
- (5) Okamoto, S., Kobayashi, M., Kadono, T., Kagaya, H. and Shimane, A., Influence of Attack Angle on Flow Past a Flat Plate of Finite Width Placed Vertically on a Ground Plane, *Trans. JSME*, Vol. 72, No. 714, B (2006), pp. 322-330.
- (6) Okamoto, S., Kagaya, H., Tanabe, A. and Kubota, N., Flow Past an Inclined Flat Plate of Finite Width Placed on a Ground Plane, *Proc. JSME*, No. 067-1 (2006), pp. 345-346.