

一様流中における縦渦列の性質 (第二報 渦の形状とその変化)

大坂 英雄*・山口 俊明**・影山 芳郎***

The Properties of a Row of Trailing Vortices Generated in the Uniform Flow (2nd Report, Shape of Trailing Vortex and its Streamwise Variation)

Hideo OSAKA, Toshiaki YAMAGUCHI and Yoshiro KAGEYAMA

Abstract

Following the previous paper, the measurements of trailing vortices behind a row of wing were made to examine mainly the shape and strength of those. Results show that the V- and W-component of mean velocity is produced by the trailing vortex, and that the secondary currents generated by those vortices direct downwards at the mid-span of wings, while upwards at the middle between the wings. The vortex wandering phenomenon is observed by the secondary flow vectors. The strength of trailing vortex increases with the attack angle.

1. 緒 言

前報¹⁾において、一様流中に置かれた翼素列から生じる翼端渦列の挙動について調べ、特に平均速度の流れ方向成分から翼端渦の経路について報告した。これに引き続き、本報では翼端渦の強さ及び形状について実験的に調べることを目的とする。

一つの翼端渦と比べ、翼端渦列は相互の渦が干渉し、翼端渦の誘導速度で予想される渦配置や渦の強さが異なることが期待される。前報¹⁾でも渦の経路をみると迎角、スパン方向波長により挙動が大きく変化する場合もあり得ることが明らかとなった。このような現象は乱流境界層中の縦渦列の挙動でも若干報告されている²⁾が、ほとんど未解明な点が多く十分な資料が集積されていないのが現状である。

そこで、本報では前報¹⁾と同じ実験装置、実験条件で、翼端渦列の挙動について、特に渦の強さ及び形状を明らかにするものである。

2. 実験装置及び方法

使用した風洞、翼素列およびU成分測定用ピトー管等は前報¹⁾と同様である。V、W成分の測定には3孔管を使用した。その際、差圧法を用いて算出したが、3孔管を主流中におき、方向管の差圧が零となる位置を主流方向と定めた。実験条件、測定位置、主流速度も前報¹⁾と同様である。

3. 実験結果および考察

3.1 代表配置条件の場合の縦渦列の性質

配置条件は第一報と同様、迎角 $\alpha = 8^\circ$ 、スパン方向波長 $\lambda = 62 \text{ mm}$ の場合の結果について述べる。

A. V成分

$x/c = 12.5$ における結果をFig 3-1-1に示す。図中に翼の相対的位置を下方に示す。おおまかに見て、翼端渦に対応したV成分の結果が見られる。すなわち、翼位置で $V/U_e > 0$ 、翼間で $V/U_e < 0$ となっている。Y/Sが $0.17 \sim -0.33$ の位置では、V成分の分布が非対称となっている。Y/Sが ± 0.17 の範囲においては、図の翼の左側から発生する翼端渦の方でV成分のピークが生じており、一方Y/S = -0.33 では翼の右側か

*機械工学科

**大学院機械工学専攻

***工業短期大学機械工学科

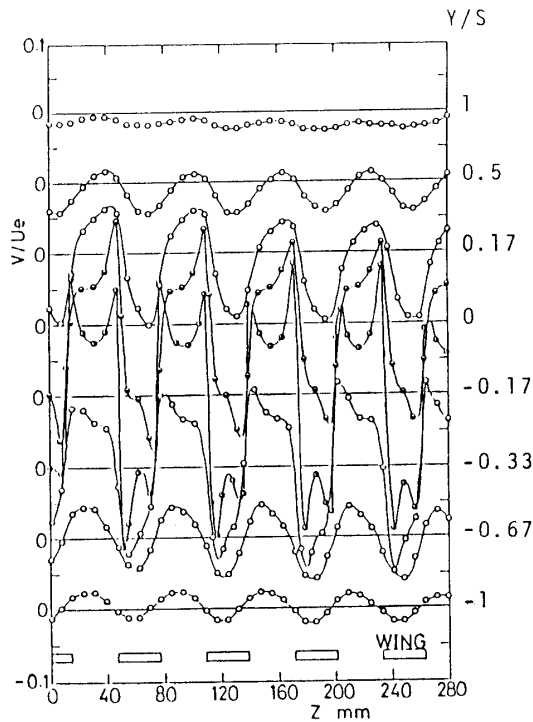


Fig. 3-1-1 V-fluctuating velocity distribution.
($x/c = 12.5$, $\alpha = 8^\circ$, $\lambda = 62$ mm)

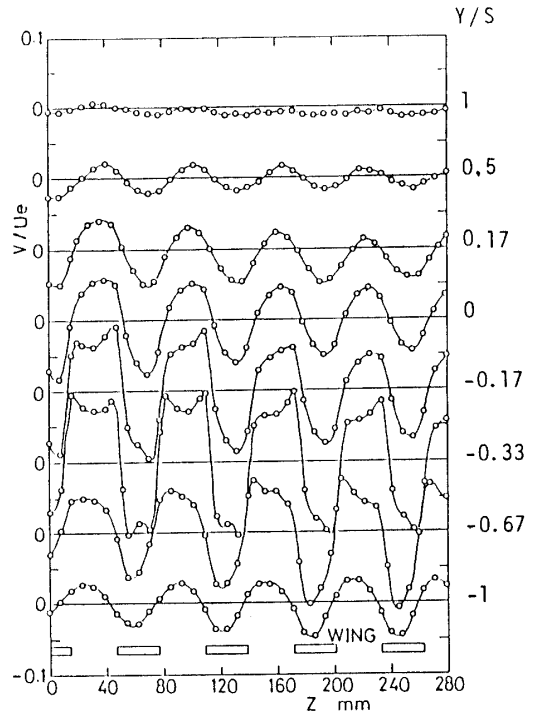


Fig. 3-1-2 V-fluctuating velocity distribution.
($x/c = 50$, $\alpha = 8^\circ$, $\lambda = 62$ mm)

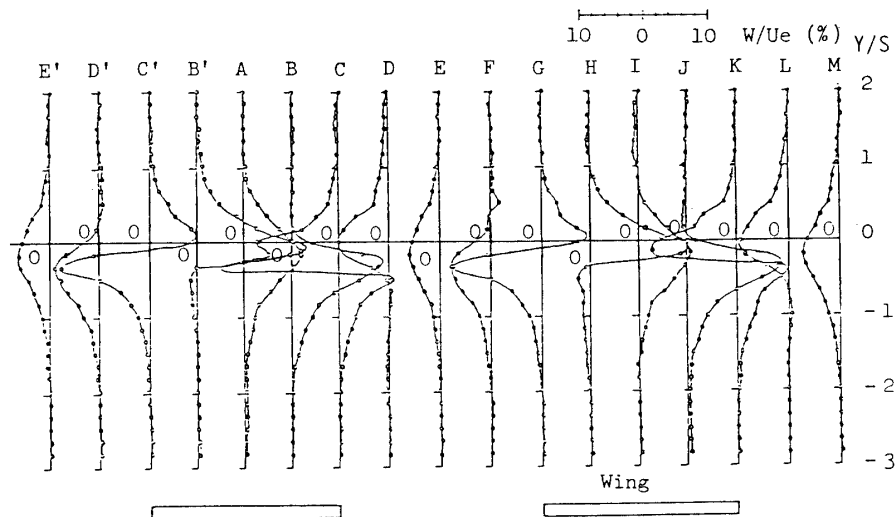


Fig. 3-1-3 W-fluctuating velocity distribution.
($x/c = 12.5$, $\alpha = 8^\circ$, $\lambda = 62$ mm)

ら発生する翼端渦の方でピークが生じている。この非対称の分布傾向はすべての翼配置で生じると思われるが、異なる風洞では分布の偏りは逆の傾向を示す場合もあるものと思われる。図中、V成分分布がスパン方向へ偏っているが、これは渦のうねり(wandering)によることも考えられる。 $x/c = 12.5$ ではV成分の最大値は $Y/S = 0$ で主流速度 U_e の15%程度であり、 Y/S の絶対値が大きくなるにつれてV成分は零に漸

近するものと思われる。

次に、 $x/c = 50$ における結果をFig. 3-1-2に示す。この断面においても、分布傾向および分布の偏りは上流断面($x/c = 12.5$)の結果と同様であり、渦の合体などは見られない。翼端渦は誘導速度により下降しており、分布の傾向は Y/S の値が低い位置で上流断面($x/c = 12.5$)のものに対応している。上流断面で見られた二つのピークを持つ分布は不明瞭となってい

る。 V/U_e の最大値は $Y/S = 0$ で 9% 程度である。

B. W 成分

$x/c = 12.5$ の結果を Fig 3-1-3 に示す。 図中に翼の相対的位置を示す。 翼端渦に対応して W 成分の変化がみられる。 図中、翼の右端から生じる渦について見ると、反時計方向回りの渦があり、 $Y/S = -1/3 \sim -1/5$ の位置で $W/U_e = 0$ をとり、その上方で $W/U_e < 0$ 、下方で $W/U_e > 0$ となっている。 一方、翼の左端から生じる渦については、これと反対になっている。 C と K 断面の W 成分の正、負の値と、 C' と G

断面のそれとを比較すると、逆の対応を示す。 これは、前述の vortex wandering の可能性を示していると思われる。 次に、対称面、すなわち $W/U_e = 0$ と思われる断面の翼中央 A, I と翼間中央 E, M における分布をみると、零とはなっていない。 これは、渦同志の干渉による渦のうねり (wandering) などにより、対称面が図では、右側の方へ傾いたためと思われる。 この位置での W 成分の最大値は、 $Y/S = 0$ で主流速度 U_e の 14% 程度がある。

次に、 $x/c = 50$ の結果を Fig 3-1-4 に示す。 分布傾

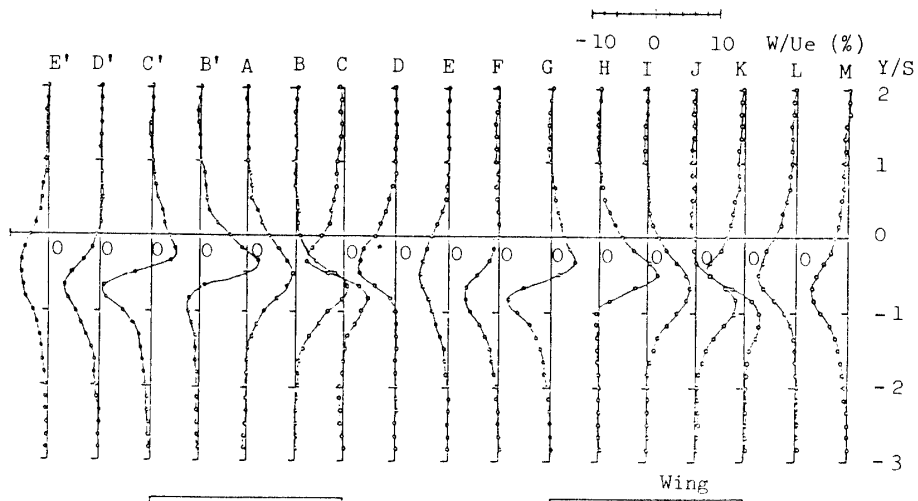


Fig. 3-1-4 W-fluctuating velocity distribution.
($x/c = 50, \alpha = 8^\circ, \lambda = 62 \text{ mm}$)

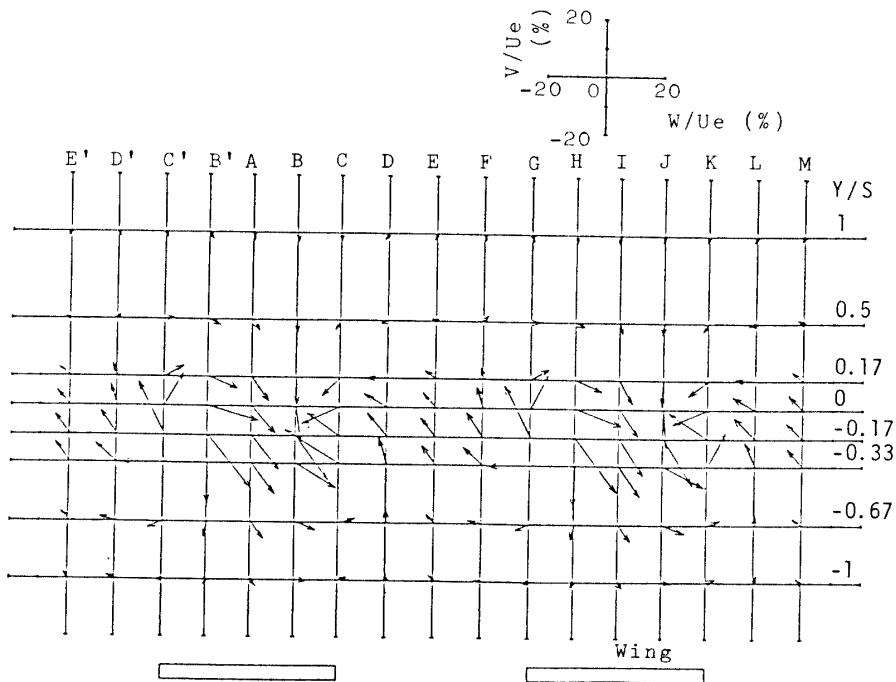


Fig. 3-1-5 Secondary flow vectors
($x/c = 12.5, \alpha = 8^\circ, \lambda = 62 \text{ mm}$)

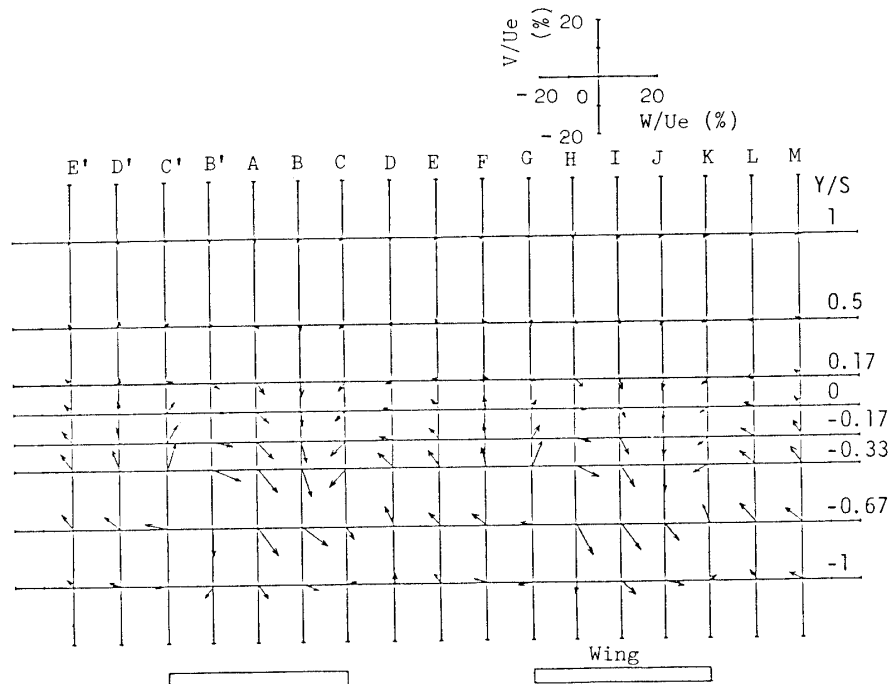


Fig. 3-1-6 Secondary flow vectors
($x/c = 50, \alpha = 8^\circ, \lambda = 62 \text{ mm}$)

向および分布の偏りは、上流断面 ($x/c = 12.5$) と同様である。翼端渦は誘導速度により、上流断面に比べ下降しているが、分布の特異な傾向は生じていない。この位置でのW成分の最大値は、 $Y/S = 0$ で主流速度 U_e の9%程度である。 $x/c = 12.5, 50$ における $V/U_e, W/U_e$ の最大値を比較してみると、それぞれ同程度となっている。

C. ベクトル線図

前述の V, W 成分から求めた $x =$ 一定断面 ($x/c = 12.5$) の速度ベクトル線図を Fig 3-1-5 に示す。図中、翼の相対的な位置を下方に示す。翼の両端から発生する一対の翼端渦が存在しているのがわかるが、渦の強さおよび尺度は、翼の左右端から生じる渦で異なっており、分布の非対称を示している。これは渦のうねり (vortex wandering) によるものも原因として考えられる。

次に、 $x/c = 50$ における結果を Fig 3-1-6 に示す。上流 ($x/c = 12.5$) で見られた一対の翼端渦は、この断面でも明瞭にみられる。ただし、その渦の強さは弱まり、尺度はやや増加しているが、この位置で渦は特に偏りが大きくなるといった傾向は見られない。

3.2 迎角の影響

代表として前報¹⁾ で示した Case 2 の条件について $\alpha = 3^\circ, 5^\circ, 8^\circ$ の場合を比較する。 $x/c = 12.5$ の結果を Fig 3-2-1 に示す。図はスパン方向に変動の一波長、

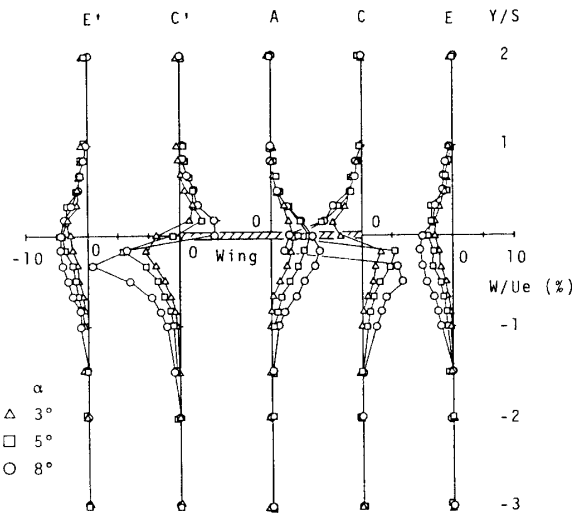


Fig. 3-2-1 Effect of the attack angle on the W-velocity component ($x/c = 12.5$)

すなわち、翼間から翼間の代表断面について示している。翼中央断面 A、翼間中央断面 E、E' は翼端渦の干渉により流れ場の変形 (ゆがみ) が生じないならば、この断面は $W/U_e = 0$ となるべきである。ところが A 断面においては $W/U_e > 0$ 、E、E' 断面においては $W/U_e < 0$ 、となっており、これは前述の渦のうねり (vortex wandering) によるものと思われる。翼端の断面 C、C' では、翼端渦の発生を示唆するように W/U_e の成分が存在するが、分布は偏っており渦の変形が見

られる。迎角による差をみると α が大きいほどすべての断面で W/U_e の値が下方にずれており、翼端渦の誘導速度が大きいことを示す。この断面で、 W/U_e の最大値は、 $\alpha = 8^\circ$ の場合15%に達する。

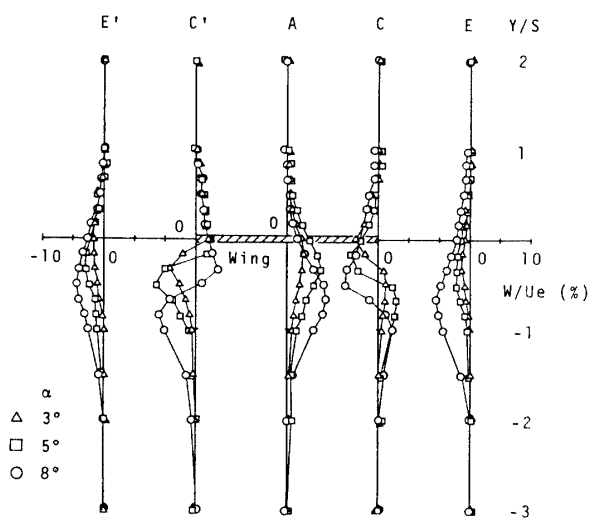


Fig. 3-2-2 Effect of the attack angle on the W-velocity component ($x/c = 50$)

次に、 $x/c = 50$ の結果を Fig 3-2-2 に示す。この断面でも、上流断面 ($x/c = 12.5$) の傾向が維持されている。但し、 W/U_e の値は減少し、また翼端渦の位置が下降しているのがわかる。この断面での W/U_e の最大値は $\alpha = 8^\circ$ の場合、7%程度である。

B. 等速線図

$x/c = 12.5$ における $\alpha = 3^\circ, 5^\circ, 8^\circ$ 、について、 U/U_e の等速線図を Fig 3-2-3~Fig 3-2-5 に示す、これは翼の後流領域が翼端渦により変形されている形状を示すもので、翼中央で下方に、一方、翼間で上方に向かう流れが推察できる。この図からは、 α の値による U/U_e の減速する値の差は明白でない。これらの図を比較してみると、後流領域の変形の程度は、 $\alpha = 3^\circ$ と 5° では同様であるが、 $\alpha = 8^\circ$ の場合はかなり大きく、上下の変形の程度はスパン S と同じ大きさである。

以上より、迎角 α が大きくなると誘導速度が増大し、また翼端渦の強さも増加している。この範囲の α の変化では、翼端渦の干渉による渦の合体などは見られないが、渦のうねり (vortex wandering) は生じているようである。

3.3 スパン方向波長の影響

A. W 成分

迎角 $\alpha = 9^\circ$ で、スパン方向波長 λ を 45 mm, 80 mm

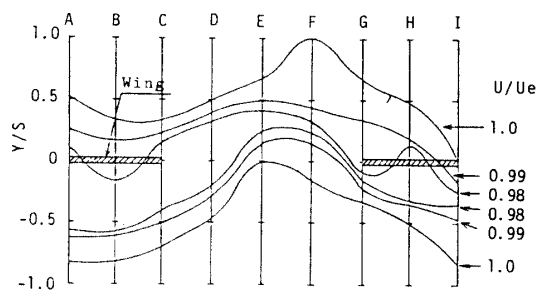


Fig. 3-2-3 Contour plot ($x/c = 12.5, \alpha = 3^\circ, \lambda = 62 \text{ mm}$)

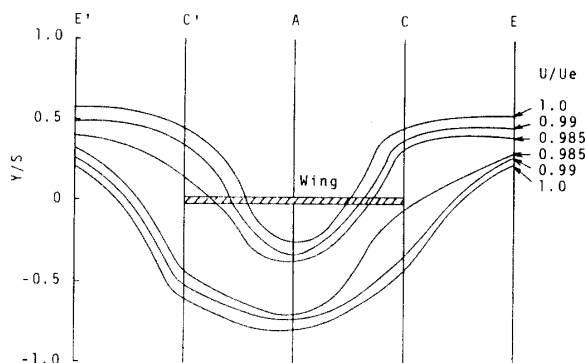


Fig. 3-2-4 Contour plot ($x/c = 12.5, \alpha = 5^\circ, \lambda = 62 \text{ mm}$)

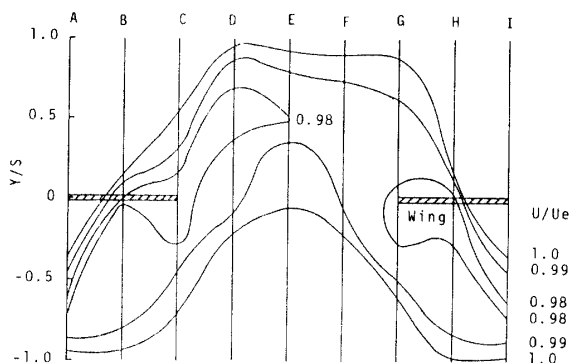


Fig. 3-2-5 Contour plot ($x/c = 12.5, \alpha = 8^\circ, \lambda = 62 \text{ mm}$)

と変化させ、 W/U_e 分布を調べてみた。 $x/c = 12.5$ の結果を Fig 3-3-1 に示す。W 成分分布は λ によらず同様の傾向を示している。しかし、 λ が小さいと隣接する渦の干渉が強く、生成する翼端渦の渦度が増している。また翼端渦の経路は λ が小さいほど誘導速度が大きいので下方に移動している。翼中央、翼間中央における W 成分も λ が小さい方が大きく、従って、渦のうねり (vortex wandering) も大きくなっていると思われる。

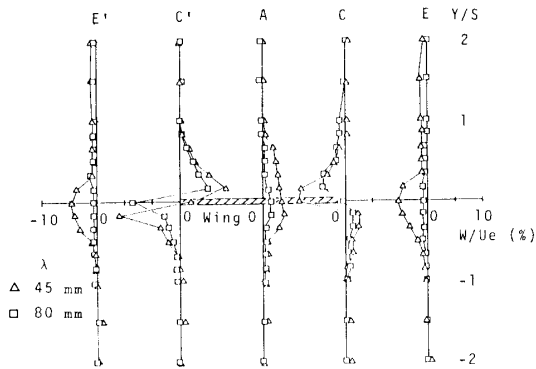


Fig. 3-3-1 Effect of the wave length of wing geometrical arrangement on the W-velocity distribution ($x/c = 12.5$)

次に、 $x/c = 50$ の結果を Fig 3-3-2 に示す。分布傾向は上流断面 ($x/c = 12.5$)と同様であるが、W成分は小さくなっている。また、 $\lambda = 45$ mmの方が翼端渦の中心位置が上方にあり、翼端渦の経路が $\lambda = 80$ mmの場合と逆転していることは興味深い。

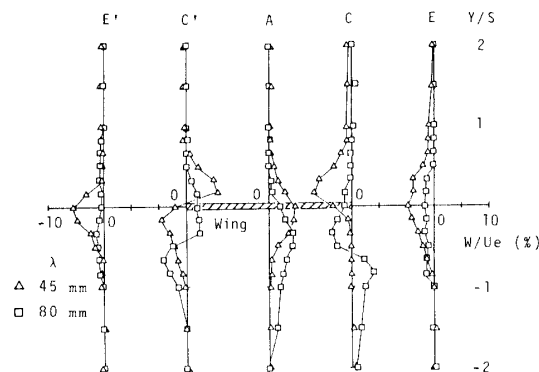


Fig. 3-3-2 Effect of the wave length of wing geometrical arrangement on the W-velocity distribution ($x/c = 50$)

B. 等速線図

U/U_e の等速線図により、翼の後流領域の変形に及ぼす λ の影響を調べてみた。 $x/c = 10$ 断面で迎角 $\alpha = 9^\circ$ の場合の $\lambda = 45$ mm, 80 mmの結果をそれぞれ Fig 3-3-3, Fig 3-3-4 に示す。 λ によらず、等速線の変形は同様の傾向を示す。また、後流幅は λ によらず、ほぼ同程度であるが、変形の程度は λ が小さい方が大きい。これは発生する翼端渦の間隔が狭いため、隣接する渦の束縛のため変化が大きく生じたものと考えられる。

以上より、スパン方向波長 λ が小さいほど隣接する渦の干渉が大きく後流領域の変形が大きい。ただし、後流幅の変化は明瞭ではない。

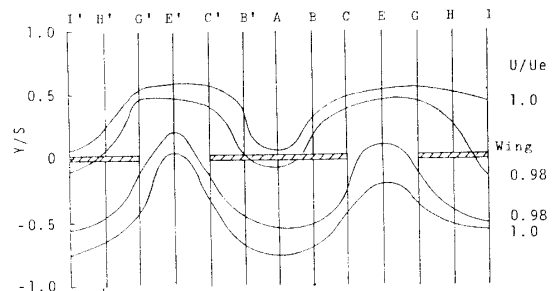


Fig. 3-3-3 Contour plot ($x/c = 10, \alpha = 9^\circ, \lambda = 45$ mm)

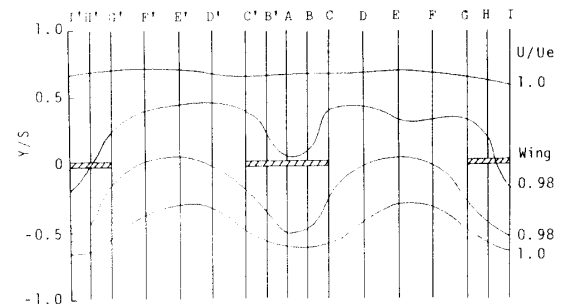


Fig. 3-3-4 Contour plot ($x/c = 10, \alpha = 9^\circ, \lambda = 80$ mm)

4. 結 論

一様流中に配置された翼素列から生じる縦渦列の性質を調べるため、特に、その渦の形状と変化に注目して実験を行なった。結果を要約すると、以下のとおりである。

- 1) すべての条件において翼端渦が生じており、翼の下面側から上面側に向かう縦渦が生じている。これにより、VおよびW成分が対応して変化を示す。すなわち、V成分は翼中央で負、翼間で正の値をとる。W成分は翼端位置において、翼の上面と下面で正、負の値が反転する。
- 2) VおよびW成分分布、ベクトル線図から見ると、翼端渦のうねり(vortex wandering)が生じていることが推察される。
- 3) 迎角 α が大きくなると誘導速度が増大し、また翼端渦の強さも増加する。然し、この範囲の α の変化では、隣接する渦の合体などは見られない。
- 4) スパン方向波長 λ が小さいほど、隣接する渦の干渉が大きく、後流領域の変形が大きい。

文 献

1) 大坂・ほか2名, 山口大学工学部研究報告36, 25 (1985)
 2) 古屋・ほか3名, 機論45—393, 618 (1979)

(昭和60年4月15日受理)