

縦渦対と乱流後流の相互干渉に関する研究

Interaction between Longitudinal Vortex pair and Turbulent Wake

○学 山田 久善 (北見工大)

和田 裕樹 (北見工大)

◎正 松村 昌典 (北見工大)

Hisayoshi YAMADA, Kitami Institute of Technology, 165, Kouen-cho, Kitami, Hokkaido
Yuuki WADA, Graduate school of Kitami Institute of Technology
Masanori MATSUMURA, Kitami Institute of Technology

Keywords: Reynolds Shear Stress, Longitudinal vortex, Distance of Longitudinal vortex pair

1. はじめに

乱流後流中には大きな混合拡散作用が働き、これは燃焼反応や化学反応、環境汚染物質の拡散などの現象と密接な関係をもっている。速度勾配の存在する流れ場において混合拡散作用が働くとレイノルズせん断応力が発生する。すなわちレイノルズせん断応力は運動量の混合拡散の程度を示し、乱流による混合拡散作用の強さを表す指標となっている。よって、レイノルズせん断応力を制御することが混合拡散作用を利用する機器の性能にとって工学的に重要となる。

過去の研究では、物体後流と縦渦の干渉によるレイノルズせん断応力の増加に関する研究が行われてきた。その結果、十分発達させた乱流後流と縦渦を干渉させるとレイノルズせん断応力が大きく増加することがわかった⁽¹⁾。しかし、縦渦の大きさや強さ、渦間距離の違いなどに関する系統的な実験は行われていないため、これらのパラメータがレイノルズせん断応力の増加現象へ与える影響は不明な点が多い。

そこで本研究の目的は、主流に含まれる縦渦と十分発達した乱流後流を干渉させるとレイノルズせん断応力が増加するという現象に対し、縦渦間距離による影響を明らかにすることにある。即ち縦渦間距離を系統的に変化させながらレイノルズせん断応力を測定し、縦渦間距離がレイノルズせん断応力に与える影響を明らかにし、レイノルズせん断応力の制御性について考察する。

2. 実験装置および実験方法

実験装置の概略を Fig.1 に示す。後流形成物体設置位置の試験部中心に座標原点をとり、主流方向に x 軸、物体と垂直方向に y 軸、物体のスパン方向に z 軸をとり、それぞれの速度成分を u, v, w とする。この時、時間平均速度成分を $\bar{u}, \bar{v}, \bar{w}$ とし、変動速度成分を u', v', w' とする。風洞の縮流部上流に設置した縦渦発生装置は、高さが 86.6mm、底辺長さ l を 80, 100, 120, 140mm と変えたアクリル製のデルタ翼である。縦渦発生装置は細いワイヤーによって固定した。

本研究では、縦渦対の渦度は一定とし、縦渦間の距離

のみを変化させるために、デルタ翼の迎角 α を調整した。すなわち、 $l=100\text{mm}$ 、 $\alpha=30^\circ$ のデルタ翼から発生する縦渦対の渦度を基準とし、他のデルタ翼を使用したときの縦渦対の渦度は、この基準渦度に対して $\pm 8\%$ 以内となるように α を調整した。デルタ翼の翼端から放出される翼端渦は、縦渦対となって絞り比 7:1 の縮流部を通過して渦伸張を受け、渦度を増して断面 $300 \times 300\text{mm}$ の試験部に流入する。

測定は $y-z$ 面内の中央部で行い、 $80 \times 100\text{mm}$ の範囲で y 軸方向、 z 軸方向共に 1mm 間隔で格子状に 81×101 点測定した。乱流後流形成物体には、ポリプロピレン製(線形約 1mm 、格子間隔 4mm)の網を、幅 5mm の矩形状に切って使用した。この矩形状の網を使うことにより周期的な渦放出は起こらず、十分発達した乱流後流を得ることができる。また $l=100\text{mm}$ 、 $\alpha=30^\circ$ のデルタ翼から出た縦渦対間中心の y 座標を Y とし、他のデルタ翼の縦渦間中心の y 座標は $Y \pm 3\text{mm}$ 以内になるようにデルタ翼の取り付け y 座標を調整した。測定断面の位置は $x=130\text{mm}$ である。主流速度は $U_0=10\text{m/s}$ 、データ収集のサンプリング周波数は 4kHz 、1 測定点におけるサンプリング点数は 28000 点である。

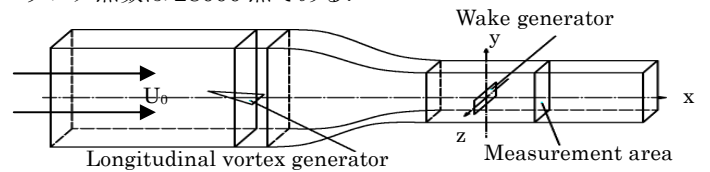


Fig.1 Experimental apparatus.

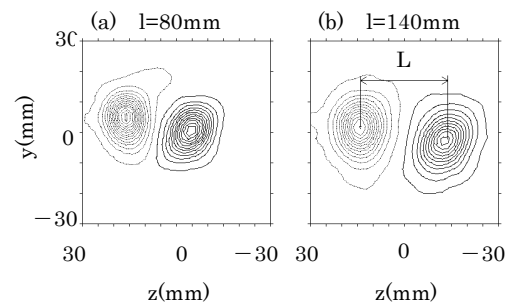


Fig. 2 Vorticity of Longitudinal vortex ω_x

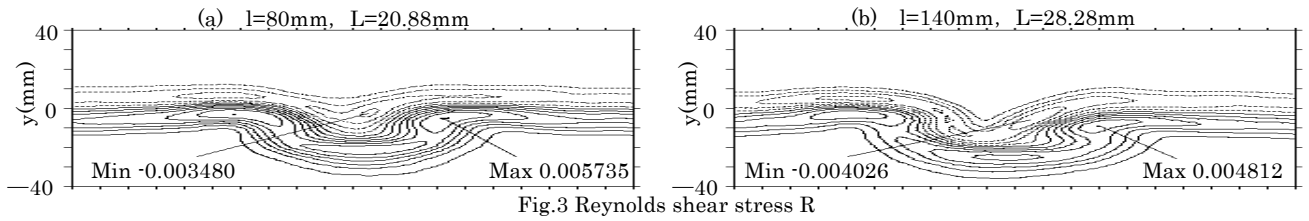


Fig.3 Reynolds shear stress R

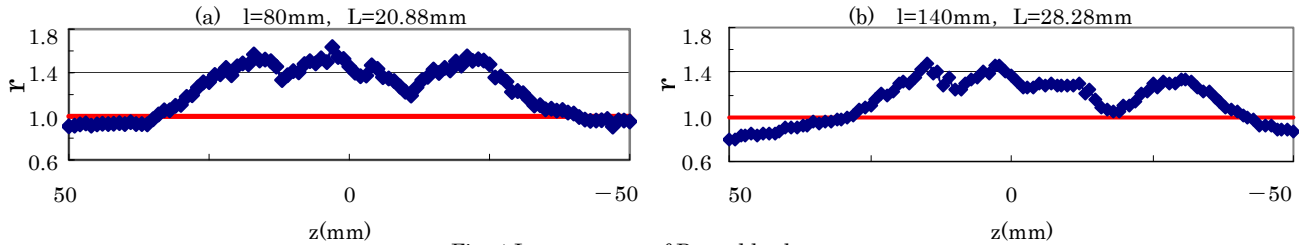


Fig. 4 Increase rate of Reynolds shear stress r

3. 実験結果および考察

x 軸周りの渦度 ω_x を次式で定義する.

$$\omega_x = \frac{\partial w}{\partial y} - \frac{\partial v}{\partial z}$$

またレイノルズせん断応力 R は $-\rho \overline{u'v'}$ で定義されるが, $-\rho$ は定数であるので, ここでは $R = \overline{u'v'}$ とする. 次に, 縦渦によるレイノルズせん断応力の増加割合 r を,

$$r = \frac{\left[\overline{u'v'}_{\max} - \overline{u'v'}_{\min} \right]_g}{\left[\overline{u'v'}_{\max} - \overline{u'v'}_{\min} \right]}$$

と定義する. この $\overline{u'v'}_{\max}$, $\overline{u'v'}_{\min}$ は, 同一の x, z 座標で得られた y 方向の $\overline{u'v'}$ 分布における最大値, 最小値を意味する. さらに, ここで使われている添え字の g は後流形成物体を設置した場合を示す. したがって, $1 < r$ のときにレイノルズせん断応力は縦渦によって増加していることを示す. そして, レイノルズせん断応力の平均増加割合 \bar{r} は

$$\bar{r} = \frac{1}{2L} \int_{-L}^L r dz$$

と定義する. ここで L は縦渦対間距離を意味する.

Fig. 2 に 縦渦発生装置のみを設置したときの渦度 ω_x の一例を示す. 図を見ると, いずれの条件でも $-15(\text{mm}) \leq y \leq 15(\text{mm})$ の範囲において明瞭な縦渦対構造を確認することができた. なお等高線は, 正を実線, 負を点線で示している. $l=80\text{mm}$ と 140mm のときの L を比較すると, 距離 L は $l=140\text{mm}$ の方が, 35.45%程大きくなることが確認できた.

次に Fig.3 にレイノルズせん断応力 R の分布状態を, Fig.4 に各 z 座標でのレイノルズせん断応力の増加割合 r を示す. Fig.3 で(a)(b)ともに縦渦対と干渉したことによってレイノルズせん断応力の分布が 3 次的になっていることが分かる. Fig.4 と Fig.3 を比較して見ると, $l=80\text{mm}$ の r は縦渦と干渉していると思われる領域では全体的に $l=140\text{mm}$ の r より大きな値を示すことが確認できる. これは縦渦対間距離が小さいほど縦渦による誘起速度が増加し, レイノルズせん断応力の増加が大きくなる

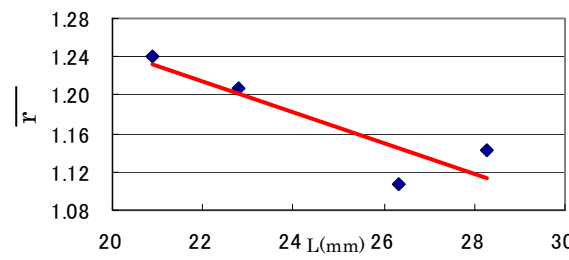


Fig.5 Mean increase rate of Reynolds shear stress \bar{r}

なったためと思われる. また他の $l=100, 120\text{mm}$ のデルタ翼を使用したときの r も同じ傾向であった. また r の値が大きくなるのは, z 軸方向について見てみると縦渦対のそれぞれの縦渦の中心部と縦渦対間の中心部の 3 箇所であることが確認できた. Fig.4 にレイノルズせん断応力の平均増加割合 \bar{r} と縦渦間距離 L との関係を示す. このグラフでは, 縦渦間距離が大きくなるにつれて \bar{r} の値が減少していくのが確認できた.

4. 結論

本実験では, 底辺長さの違う 4 種類のデルタ翼を用いた縦渦発生装置を使用して主流中に縦渦対を発生させ, その流れ場に格子状物体を設置し, そこから発生する乱流後流と干渉させた. その結果, 縦渦と乱流後流の干渉はレイノルズせん断応力を増加させることに大きく寄与し, 大きな混合拡散作用が得られることがわかった. また, 渦度がほぼ一定の場合, 縦渦対間距離が短いほどレイノルズせん断応力, 及び平均増加割合が大きくなることがわかった. さらに, z 座標上でのレイノルズせん断応力の大きくなる領域は, 縦渦の中心と縦渦対間の中心位置であることがわかった.

参考文献

- (1) 和田・他 2 名, 日本機械学会第 83 回流体工学部門講演会 CD-ROM 版, No05-32, (2005)