

210 縦渦対と乱流後流の相互干渉における後流幅の影響

Effects of Wake Width on Interaction between Longitudinal Vortex Pair and Turbulent Wake

○学 和田裕樹 (北見工大院) 学 片川陽介 (北見工大院)
山田久善 (北見工大) 正 松村昌典 (北見工大)

Yuuki WADA, Graduate school of Kitami Inst. Tech., Kouen-cho 165, Kitami, Hokkaido
Yousuke KATAGAWA, Graduate school of Kitami Inst. Tech., Kouen-cho 165, Kitami, Hokkaido
Hisayoshi YAMADA, Under Graduate school of Kitami Inst. Tech., Kouen-cho 165, Kitami, Hokkaido
Masanori MATSUMURA, Kitami Inst. Tech., Kouen-cho 165, Kitami, Hokkaido

Key Words: Reynolds Shear Stress, Wake, Longitudinal Vortex

1. はじめに

渦放出に周期性をもつ乱流渦列後流中のレイノルズせん断応力の生成には、縦渦が大きく寄与していることが指摘されている。この縦渦は、大規模渦列に重畳し、リブ構造を形成していると思われる。一方で周期的な大規模渦構造を持たない十分に発達した乱流後流においても、レイノルズせん断応力は生成される。これは、一様に乱れた乱流中の一部の渦が、リブ構造と同様な役割を担う為であると思われる。

過去の研究⁽¹⁾においては、周期的な渦放出のある渦列後流や、十分に発達した乱流後流と主流縦渦を干渉させ、レイノルズせん断応力の増加割合を調べた。その結果、後流が縦渦を取り込むことによって、レイノルズせん断応力が大きく増加することが分かった。さらにレイノルズせん断応力の増加率 $\bar{\tau}$ は、縦渦と後流の相対的位置関係や後流幅に大きく影響を受けることが分かった。しかし、縦渦対と後流幅の位置やスケール比の関係については、まだ十分な研究が行われていない。

そこで本研究は、乱流後流と縦渦を干渉させたとき、そのスケール比が、後流特性に与える影響を明らかにすることを目的としている。すなわち、縦渦を含んだ主流中において、乱流後流幅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することにより、縦渦対と後流幅のスケール比がレイノルズせん断応力の増加割合に与える影響を明らかにするものである。

2. 実験装置及び実験方法

図1に実験装置の概略を示す。後流形成物体設置位置の試験部中心を座標原点とし、主流方向にx軸、物体と垂直方向にy軸、物体スパン方向にz軸を取る。またx、y、z

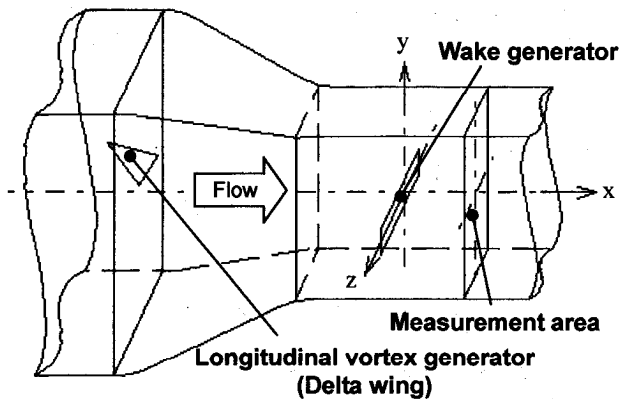


Fig.1 Experimental apparatus.

軸方向の瞬時速度成分をそれぞれ u 、 v 、 w とし、時間平均速度成分を \bar{u} 、 \bar{v} 、 \bar{w} 、変動速度成分を u' 、 v' 、 w' とする。風洞縮流部上流には、縦渦発生装置として1辺が100mmの亚克力製正三角形のデルタ翼が、細いワイヤーによって設置されており、その迎角 α は 30° としている。デルタ翼の翼端から放出された翼端渦は、絞り比7:1の縮流部を通過することによって渦伸長を受け、渦度の強化された縦渦対となって、断面 300×300 mmの試験部に流入する。

測定はy-z面内の中央部で、 120×120 mmの範囲を、y方向に1mm、z方向に2mm間隔の格子状に 121×61 点で行った。後流形成物体には、ポリプロピレン製(線径約1mm、格子間隔4mm)の矩形の網を使用し、その幅は $d=9$ mm、 13 mm、 17 mm、 21 mmとした。網状物体を使うことで周期的な渦放出は起こらず、十分に発達した乱流後流が形成される。下流方向の測定位置は $x/d=5$ 、 10 、 15 、 20 の4地点である。主流速度は $U_0 \approx 10$ 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。

3. 結果と考察

図2に、縦渦発生装置から発生した縦渦対の後流形成物体設置位置における渦度分布を示す。なお、ここではx軸周りの渦度 ω_x を次式で定義する。

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

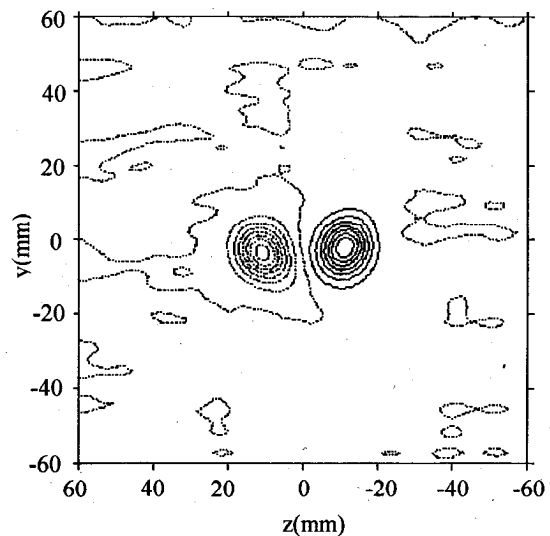


Fig.2. Contour map of vorticity $\omega_x (x/d=0)$

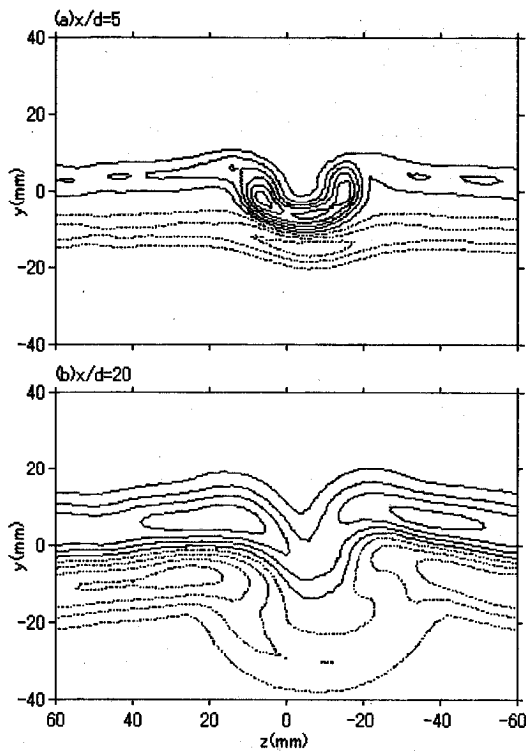


Fig.3. Contour maps of Reynolds shear stress $R = \overline{u'v'}$

本結果から、 $y=0\text{mm}$ 付近に中心を持つ明瞭な縦渦対が形成されていることがわかる。

図3(a),(b)に、 $d=13\text{mm}$ のときの、 $x/d=5, 20$ におけるレイノルズせん断応力 R の分布図を示す。なお、実線は正の値、破線は負の値を示している。 $x/d=5$ の場合、 $z=-20\text{mm}$ から $+20\text{mm}$ の領域において、後流と縦渦が干渉することによって、縦渦中心、及び縦渦対間において、 R が大きく増大していることが分かる。しかし、 $x/d=20$ の場合では、 R のピーク値は低くなり、分布の局所性が緩和されている。特に $z=0\text{mm}$ から 20mm の領域におけるレイノルズせん断応力が、周囲と比較して低いことが分かる。これは上流側の強いレイノルズせん断応力によって最大欠損速度が減少し、速度勾配が緩和されたことに起因するものと考えられる。

図4(a)に $d=13\text{mm}$ における $x/d=5, 20$ のレイノルズせん断応力増加割合を、(b)に $d=21\text{mm}$ における $x/d=5, 20$ のレイノルズせん断応力増加割合を示す。レイノルズせん断応力増加割合 r は次のように定義する。

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

ここでの $\overline{u'v'}_{\max}$ 、 $\overline{u'v'}_{\min}$ は、同一 x, z 座標で得られた y 方向の $\overline{u'v'}$ 分布において、それぞれ極大値、極小値を意味する。また、添字 g は縦渦のある場合を意味する。従って、 $r > 1$ の時、縦渦によって、レイノルズせん断応力が増加したことを意味する。また r の z 軸方向平均値を \bar{r} と表す。

図4(a),(b)は、共に分布傾向が相似であることが分かる。すなわち、 $x/d=5$ の場合では、縦渦と干渉している領域で、レイノルズせん断応力が増大している。また $x/d=20$ の場合、 $z=-20\text{mm}$ 付近における増加割合が1を下回っている。このときの \bar{u} を確認してみると、 \bar{u} は $y=-3\text{mm}$ の断面において、縦渦が存在しない場合に比較すると、最大で約20%程上昇しており、欠損速度の回復が早くなっているということが分かった。

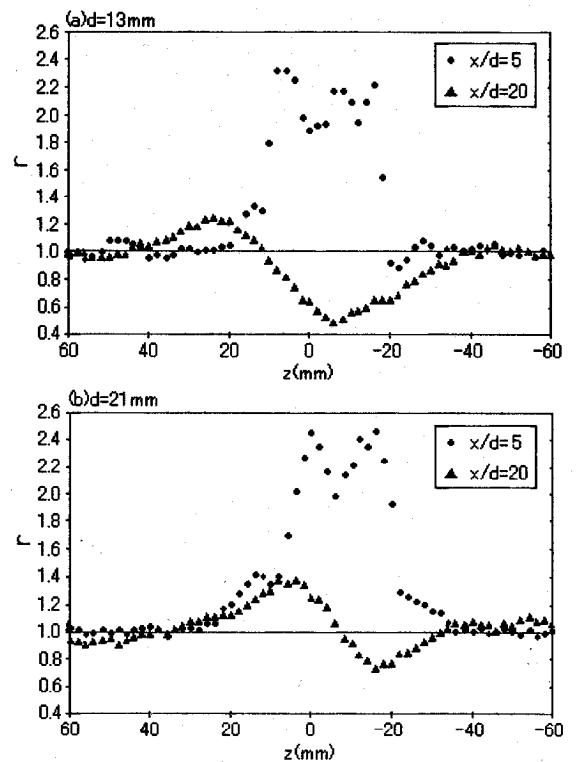


Fig.4 Increase rate of Reynolds shear stress.

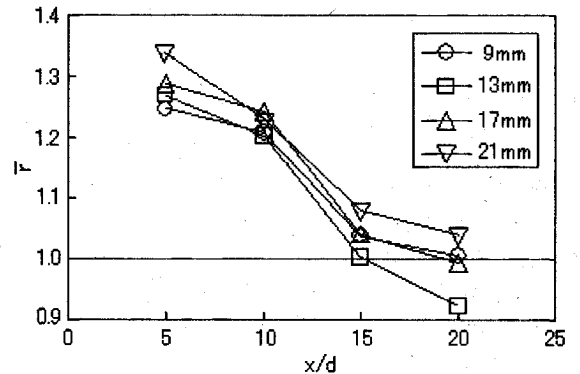


Fig.5. Mean increase rate of Reynolds shear stress.

図5に、各 x/d 、及び各後流形成物体幅におけるレイノルズせん断応力平均増加割合 \bar{r} を示す。後流形成物体幅 d によらず、下流側に進むにつれて、平均増加割合は一律に減少していることが分かる。また $x/d=20$ における、 $d=13\text{mm}$ 、 17mm の条件では、平均増加割合は1を下回っている。どちらの条件においても、欠損速度は縦渦が存在しない場合と比較して、最大約25%程の減少が確認できた。すなわち、縦渦との干渉により、上流側でレイノルズせん断応力が増加すると、その混合拡散作用によって、速度欠損量の回復が早くなっていることが分かった。

4. 終わりに

乱流後流に縦渦を干渉させると、レイノルズせん断応力が増加する。その増加割合は後流幅と縦渦のスケール比の影響をほとんど受けず、縦渦と後流の相対的位置関係に強く依存するものと考えられる。

参考文献

(1)和田、松村、片所 機構論 CD-ROM 版, No05-32, 2005, 807