

II-217

成層流における平板上の半球後流の特性について

○ 東京大学 大学院 学生員 田中規夫
 東京大学土木工学科 正員 玉井信行
 東京大学土木工学科 正員 浅枝 隆

1. はじめに

筆者らは、前回、成層流における平板上の半球周りの流れの構造を可視化によりとらえ、レイノルズ数 $Re (=UR/\nu, U$:平均流速、 R :半径、 ν :水の動粘性係数、 $Re=400\sim 2000$)、密度フルード数 $Fd (=U/NR, N$:浮力振動数、 $Fd=0.1\sim 10$)の間では大きく3つの渦構造が形成され、dividing streamline, 剥離渦, Lee wave等が流れを特徴づける重要な現象であることを示した^{1), 2)}。今回は、そのなかで半球後方の剥離域の幅や高さといった特性が密度成層効果ならびに粘性の効果によってどの様に変化するのかを定量的に解明することを試みた。

2. 後流の特性について

(1) 記号の定義 : 図-1に半球後方の剥離域の記号を定義する(半球中央断面)。剥離域内部には、前回示したように一對の渦管またはアーチ型の剥離渦が形成されるが剥離渦が形成されているときは、その崩壊線の平均位置を剥離域とする。

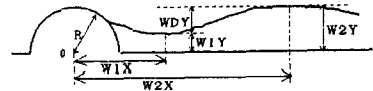


図-1 記号の定義

(2) 波長の変化 : 図-2は半球後方の剥離域の谷の部分の変化を Fd に対して示したものである。ここで、点線は2次元の場合のLee waveの半波長 $W1X_2$ の解析値で式(1)の様に与えられる。

$$W1X_2 = \pi * Fd / (1 - \epsilon^2 Fd^2)^{1/2} \dots (1) \quad (\epsilon = 219)^{3)}$$

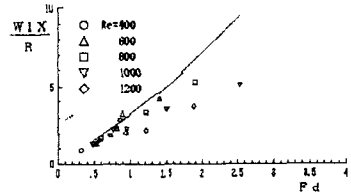


図-2 $W1X$ と Fd の関係

図-2によると Re が大きいほど直線からずれる傾向が確かめられる。そこで、 $W1X = \alpha * W1X_2$ として回帰を行い、 α の変化を調べると図-3の様になる。 α は Re が大きくなるにつれてほぼ直線的に減少することが解る。これは、 Re が大きくなるにつれて剥離渦による上部流体の連行、並びに、剥離領域内部の混合が進み、密度効果が弱まること、また剥離渦が斜め上方に放出されることにより半球を越えてきた流体に上向きの復元力が与えられること、剥離渦の形成により3次元性が強くなることなどによるものと考えられる。

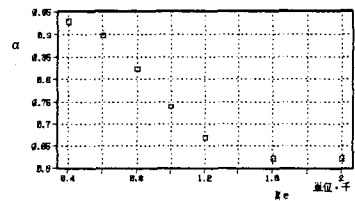


図-3 α と Re の関係

(3) 剥離域の Fd による変化 : 図-4は $Re=1200$ における剥離域の谷の高さ($W1Y$)、山の高さ($W2Y$)、並びにLee waveの振幅(WDY)の Fd による変化を示したものである。 $W1Y, W2Y, WDY$ ともに、 Fd が大きくなると増加する傾向を示すが、これは Fd の小さい方が、密度成層が剥離領域を押さえつける効果の強いことを示している。

図-5は、 $Re=1200$ における剥離域の谷の部分の幅($W1W$)、高さ($W1Y$)、並びにその比($WA=W1W/W1Y$)の Fd による変化を示したものである。 Fd が大きくなるにしたがって $W1Y$ は大きく $W1W$ は小さくなるためその比は $3\sim 2$ と非常に大きく変動しており、 Fd の小さい方がつぶれたウェイクを形成していることが解る。

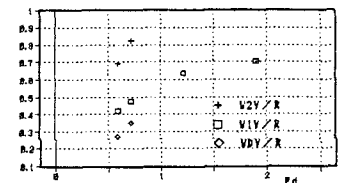


図-4 $W1Y, W2Y, WDY$ と Re の関係

(4) Re による変化 : 図-6は、 $Re=800, 1000, 1200$ における $W1Y$ の変化を Fd に対して示したものである。同じ Fd の時、剥離渦が形成されていないときは、 Re による違いは余り見受けられないが剥離

渦の形成後では、 Re が大きくなるにしたがって、 $W1Y$ はやや小さくなる傾向を示す。これは図-7に示すように、放出される剥離渦の St が Re の小さい方が小さく、従って渦の平均間隔やスケールが低 Re のほうが大きい。上部流体の連行量が大きいためと思われる。しかし、 $Re=1400, 1600, 2000$ になると St にあまり差がみられないことや、渦の合体等の現象が起こることにより、図-8のように、それまでとは逆に Re が大きくなるにしたがって、谷の部分の高さ($W1Y$)は大きくなる。

図-9は、 $Re=800\sim 2000$ における幅の変化を Fd に対して示したもので、全体としてはやや減少傾向を示すが、 Re, Fd による変化は、 $W1Y$ の時ほど認められない。そこで、 $W1Y$ の変化に対応して高さとの比 WA は大きく変化する。すなわち、図-10, 11に示すように、 $Re=800\sim 1200$ においては(図-6に対応)、同じ Fd では Re が大きい方がアスペクト比は小さく、 $Re=1400\sim 2000$ においては(図-8に対応)は、 Re の大きい方が比は小さくなる。

3. おわりに

密度成層流体中の物体後流の特性について、まず、Lee waveの波長の特性を調べ、次に、Lee waveの谷、山の部分に着目して、振幅、剥離域の幅、高さ、アスペクト比、の Fd, Re による変化を調べた。その結果、剥離渦の形成、周波数、放出時の挙動が剥離領域の広さに大きく関与していることが解った。今後は、物体前面部の流れに及ぼす密度成層効果について調べ、後流に及ぼす前面部の流れの影響について考察を加える予定である。

参考文献

- 1) 田中、玉井、廣沢：第43回年次講義要集、PP. 376-377、1988
- 2) 田中、廣沢、玉井：第20回乱流シンポジウム講演論文集、PP. 257-261、1988
- 3) Castro I. P., Snyder W. H. & Marsh G. L. : J. Fluid Mech. 135, PP. 261-282、1983

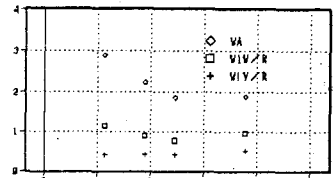


図-5 $W1Y, W1W, WA$ と Fd の関係

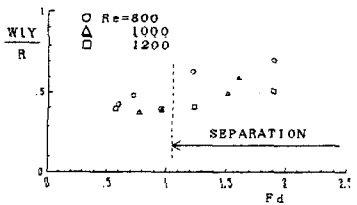


図-6 $W1Y$ と Fd, Re の関係

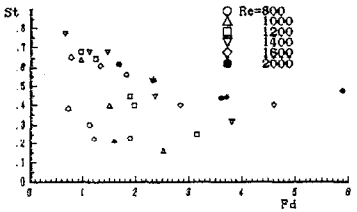


図-7 St と Fd, Re の関係

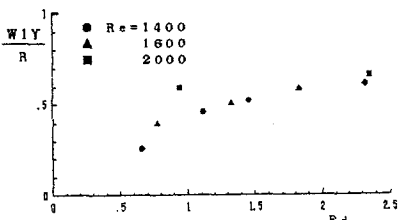


図-8 $W1Y$ と Fd, Re の関係(2)

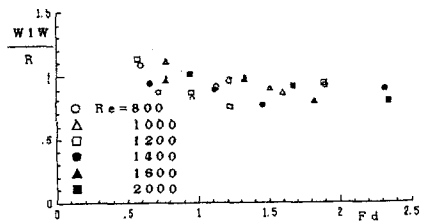


図-9 $W1W$ と Fd, Re の関係

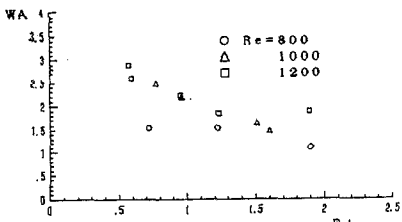


図-10 WA と Fd, Re の関係(1)

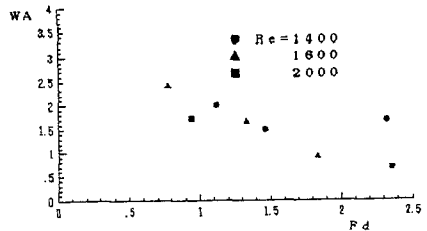


図-11 WA と Fd, Re の関係(2)