

二次元噴流に及ぼす壁面の影響について

京都大学工学部 正員 中川博次
新日本製鐵(株) 正員 〇中川雅夫

京都大学工学部 正員 祿津家久
京都大学大学院 学生員 畑 英也

1. まえがき 噴流出口近傍領域において、coherentな渦構造が存在することが従来の研究によって指摘されている。我々が過去に行った研究からも、渦の発生周期や発生位置が噴流出口での境界層厚さにより変化することなど、初期条件を変化させることで渦の運動特性が変化することを確認してきた¹⁾。本研究では、軸対称二次元噴流の混合領域の一方を固体壁で拘束することによって、平均流特性及び渦運動がどのような影響を受けるかを点計測の結果から検討し、考察を加えるものである。

2. 実験方法 長さ126 cm、幅17 cm、深さ82 cmの拡散水槽に二次元噴流を放流し、一成分コンカル型ホットフィルム流速計を用いて流速測定を行った。実験は、壁面の拘束を定めない自由噴流(F-F-1)と壁面噴流(F-W-1)及びその中間の、ノズルから壁面までの距離 $L=5$ cmとした壁面の拘束を受ける噴流(F-L-5)の3ケースについて行った。なお、噴流の出口幅は1 cm、初期断面平均流速は16 cm/sとした。

3. 平均流速特性 横断面方向の流速分布は、自由噴流の場合には、流軸に関して左右対称なガウス分布となるのに対して、壁面噴流では壁面近くで流速は最大となり、外部層ではガウス分布、内部層では十分に発達した後にベキ乗則に従うようである。しかし、噴流出口付近の内部層の流速分布は、十分に発達した壁面噴流の場合とは異なり、ガウス分布とベキ乗則を結合した分布となっている。壁面の拘束を受ける噴流(F-L-5)では、各種断面で最大流速を示す位置 Y_m (流軸)を示した図1で明らかなように、噴流が壁面側に曲がり、下流側で壁面に付着している。これはコアンダ効果として一般に知られており、噴流の上下の圧力差に基づくものである。また壁面に付着した後は流速分布は壁面噴流での結果と相似になった。図2は壁面の拘束を受ける噴流が壁面と付着するまでの距離 L_e を従来の研究結果と合せて示したものであり、本研究の結果が従来の結果とよく一致しており、本研究での実験値の妥当性が検証された。噴流出口から壁面に付着するまでの領域は「eddy region」として知られており²⁾、可視化の結果から、この領域で、下流側での噴流の衝突に起因する、渦の相互作用が活発に起こっていることが確認された。

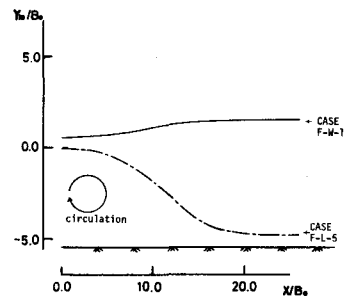


図1 流軸

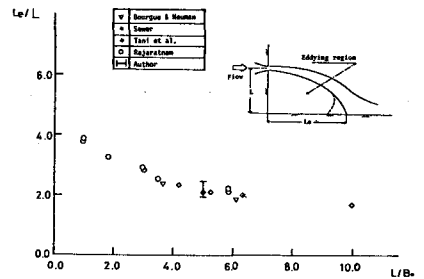


図2 「eddy region」の長さ

4. スペクトル解析 F.F.T法によって、流速変動

Uの周波数スペクトルを全測点について求めた。図3は各ケースの流軸上のスペクトルの卓越周波数 f_p を無次元化したストローハル数 St の流下方向への変化を示したものである。これによれば、 St は流下方向に階段状に変化し、噴流出口付近での St 数を β とすると下流側では $\beta/2$ あるいは $\beta/4$ に卓越部が現れている。我々は別に可視化で観測された渦運動の周期が、流軸上でのスペクトルの卓越周期と良好に一致することを確認したが、このことを考慮すれば、 St の階段状の変化を渦の合体等の相互作用によるものと考えることができ注目される。また、噴流出口近傍のいわゆる渦の発生領域では、壁面の拘束を受ける場合にも受けない場合にも、卓越周波数は大差なく渦の発生周期は壁面の有無により、あまり影響されないと考えられる。しかし、下流側においては、自由噴流(F-F-1)の場合には $x/B_0 = 12$ 付近までスペクトルの卓越部が明確に見られたが、壁面の拘束を受ける噴流(F-L-5)では $x/B_0 = 8$ 付近までしか卓越部が見られず、非線形干渉が急速に進行していくことを示唆している。また壁面噴流では、下流側で $St = \beta/4$ にも卓越部が現れ、二重の合体が起こっている可能性がある。図4は流下方向距離 $x/B_0 = 8$ 断面の流軸上のスペクトル分布を示したものである。自由噴流や壁面噴流では、 $F = 3(\text{Hz})$ 付近にかなりの強度をもつ卓越部が存在するが、壁面の拘束を受ける噴流(F-L-5)では、この卓越部がほとんど消失している。このことを渦運動から説明すれば、渦の相互作用が頻繁に起きた結果、エネルギーが各周波数成分に再配分されて急速に乱流域でのスペクトル形状、すなわち $1/5$ 乗則分布に移行するためと考えられ、壁面の拘束を受ける噴流では下流側の条件、たとえば再付着点の存在に支配されて渦運動は活発となるようである。図5は壁面噴流の外部層(周囲水側)と内部層(壁面側)のスペクトル分布と比較したものである。同じ $x/B_0 = 8$ の断面で比較すると内部層の方が強い周期成分が残っており、 $x/B_0 = 10$ でもその周期性は存在している。このことから、壁面との境界に発生する渦は、周囲水との間にできる渦よりも崩壊しにくくことがわかり、渦の発達・崩壊に周囲水の果たす役割が示唆されている。

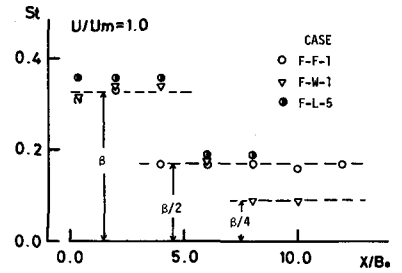


図3 流軸上の卓越ストローハル数

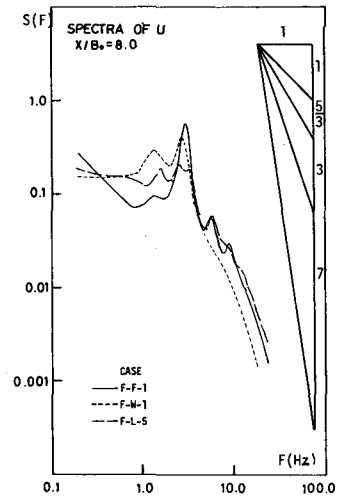


図4 スペクトル分布 ($x/B_0 = 8$)

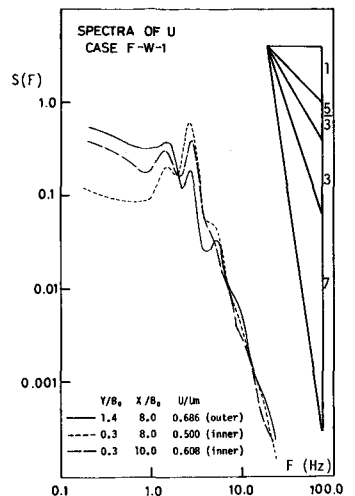


図5 スペクトル分布(壁面噴流)

〈参考文献〉 1) 柳澤・北村・中川 工学会関西支部年報(1981) 2) Rajaratnam, N "Plane turbulent reattached wall jet", AS.CE (1968)