

東京工業大学 正会員 佐藤郁太郎
東京工業大学 正会員 福岡捷二

はじめに 静止流体中に流入する噴流や速度差をもつ二層流等の混合層中には、大スケールの渦(組織的渦)が観察される。¹⁾²⁾ この組織的渦は周囲の流体に影響を及ぼすばかりでなく、混合層の拡がりや混入物の拡散に重要な役割をも果たす。本研究では、二次元鉛直噴流実験から、実験事実をもとに流れの場をモデル化し、組織的渦による周囲水の混入量を見積った。また、運動量と混入物の拡散特性の違いを、組織的渦と関連づけて説明を試みた。

二次元鉛直噴流実験 実験装置および実験方法の詳細は文献2)4)に述べられている。座標は、噴出口から鉛直方向にZ軸、流れに直角方向にY軸とする。実験は、噴出口の幅 B_0 と噴出口での平均流速 U_0 に基づくRe数が1000, 3000, 6000の三つの場合について行なった。渦の測定は、ホットフィルム流速計と可視化による映画撮影の方法を併用して行なった。

組織的渦の特性 渦の周期は、乱れ強度の測定の結果最大値をもつ $\eta = y/x = 0.1$ にプローブを固定して20 cm $< x < 50$ cmの10 cm間隔4断面で測定し、高周波成分をカットした流速変動波形の山から山の時間から決定した。また、映画撮影からも周期を読みとった。この結果を図-1に示す。これより渦の周期は一定でなく、流下とともに階段状に変化して長くなる。一方、同じZの位置ではRe数が増加すると周期は短くなる。渦の周期が流下とともに変化するのは、渦が合体しなければ生じない。可視化した噴流を $Re = 3000$ の場合には0.5秒間隔で、 $Re = 6000$ の場合には0.2秒間隔で示したものが図-2である。ある時間では、中心軸の右と左では異なる回転方向をもった渦がほぼ交互に存在している。この時、渦の相互作用によって誘起される個々の渦の移動方向は鉛直下向きである。しかし、平均流が流下するにつれて減速するために、渦も減速して渦間隔は縮まり、同じ回転方向をもった渦の相互作用が顕著に現われる。その結果、上流側の渦は中心軸方向へ動き、下流側の渦は外縁方向へ動いて急速に接近し、合体して一つの大きな渦となる。この時、渦は最も円形に近くなり、その後は流速分布の影響を受けて流れ方向に引き伸ばされ、やがて次の渦と合体する。噴流の混合領域は、この様な渦の合体をくり返しながら次第に拡がっていくと考えられる。図-3は、混合領域の拡がりを見るために、渦の外縁の拡がり勾配と最大流速の半値半幅 y の拡がり勾配を示したもので、次のことがわかる。二つのRe数の範囲では、渦外縁の拡がり勾配はほぼ同じで、 dy/dx は約

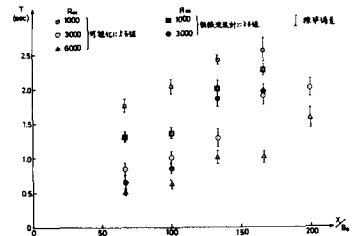


図-1 渦の周期

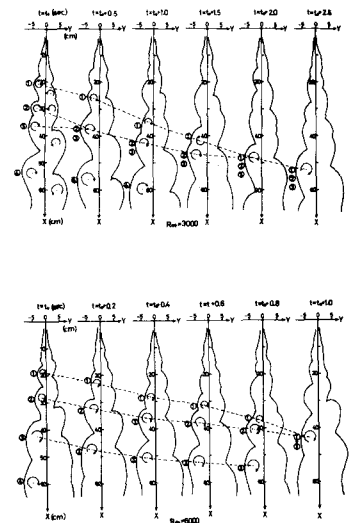


図-2 渦の全体状況

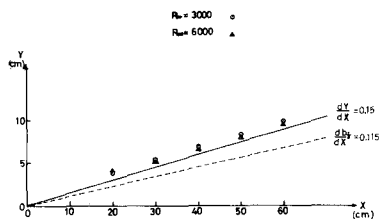


図-3 渦外縁の拡がり

0.15である。また、最大流速の半値半幅の拡がり勾配⁴⁾⁵⁾は約0.115で、いずれの拡がりも相似が成立している。

周囲水の混入と組織的渦 噴流の可視化によって、回転方向の異なる渦と渦の間に強い周囲水の混入が観察された。この様な周囲水の混入は組織的渦と関係すると思われる。そこで、組織的渦による混入量の見積りを行なった。まず、渦の循環を計算する。図-4に示すように、渦中心の座標を x, y 、渦半径を a とし、流速分布はガウス分布で近似できるものとするれば、図に示す三つの仮定のもとで渦度は平均流から求まり、循環は渦度の面積分から求まる。次に混入量の計算を行なう。図-5に示すような流れの状態を考え、混入が二つの渦の中心にはさまれた区間Sで起こると仮定する。この時、単位時間、単位幅当りの混入量は(2)式によって求まる。 $Re = 3000, 6000$ の場合の計算結果を図-6に示す。縦軸は単位幅流量 q をとっている。図には比較のために、組織的渦と関係なく求めた二次元鉛直噴流理論において、混入に伴う流量の x 方向変化も示している。モデルによる計算は $x = 20\text{cm}$ から始めたのでその点から出発しているが、両者はよい対応を示している。このことは、混入が速度の不連続面から一様に起こると考えてもよいし、混入の起こる場所が主として組織的渦と渦の間に集中し、周囲水が回り道をして入ってくると考えてもよい。しかし、組織的渦がある場合には、後者は実際の混入現象により即していると考えられる。

拡散と組織的渦 噴流における運動量や混入物の拡散に関する従来の研究から、混入物(溶解物質もしくは熱)の方が運動量に較べて拡散されやすいことが知られている。²⁾⁵⁾しかし、この輸送特性の違いについての十分な説明はなされていない。この違いを組織的渦と関連づけて説明を行なう。図-7に示すように、渦自身の速度分布によって渦がある場所での流速分布は勾配の急な分布となる。これに対し、渦がある場所での濃度分布は、渦がその回転によって噴流中心軸付近の高い濃度をもった流体を外縁に運び、外縁の低い濃度をもった流体を中心軸付近に運び働きをするため濃度の一様化がなされ、図に示すようなゆるやかな勾配の分布となる。一方、前述のように渦によって引き起こされる周囲水の混入は、運動量も混入物も対流的に拡散し、両者を一様化する傾向がある。従って、このような渦の二つの作用が考えている物理量を一様化するか、そうでないかの差だけ、時間平均された流速分布と混入物濃度分布の違いが現われる。その結果、混入物の方が運動量よりも拡がると考えられる。

- 1) Winant, C.D., Browant, F.K., J. Fluid Mech. vol. 63, part 2, 1974
- 2) 吉川秀夫, 福岡捷二, 吉川勝秀, 土木学会論文報告集, 第260号, 1977年4月
- 3) Schlichting, H., : Boundary Layer Theory, 4th edition, 1960
- 4) 福岡捷二, 吉川勝秀, 佐藤郁太郎, 第21回水理講演会論文集, 1977年, 2月
- 5) Zijnen, V.D.H., Appl. Sci. Res. A, vol. 7, 1958

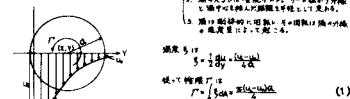


図-4 循環の計算法

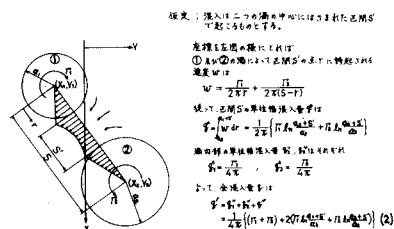


図-5 混入量の計算法

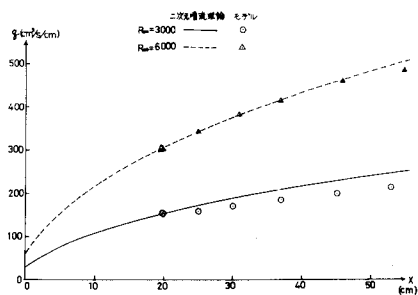


図-6 混入量の計算結果

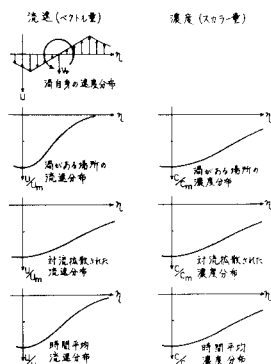


図-7 運動量と混入物の拡がりに果たす渦の働き