

II-158 開水路合流部の組織乱流の構造とその乱流拡散に及ぼす影響について

京都大学工学部 正員 中川 博次

京都大学工学部 正員 禰津 家久

京都大学大学院 学生員○室屋 浩幸

1、まえがき 流速の異なる流体が合流すると大規模で組織的な渦が発生することが知られている。¹⁾ 本研究は開水路合流部に発生する渦に注目して流量比を系統的に変化させた際の渦運動特性とそれが及ぼす乱流拡散への影響を可視化実験及び濃度、流速の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15m×幅50cmの亚克力製水路の中央を厚さ1mmの鉄板で二分し、水路上流端から7.7m下流で合流させた。個々の流量はフロート型流量計で任意に設定できる。本研究では流速比を0.0、0.2、0.4、0.6、0.8、1.0の6通り変化させ、水深は $h=10\text{cm}$ と一定にし、計測高さ $z/h=0.8$ の水平面内で計測した。高速側の平均流速は5、10、15cm/sの3種類変化させた。流速の測定は3mm径のプロペラ流速計及びX型2成分ホットフィルム流速計を用いて行なわれた。各ケースとも測点数は約150点である。可視化実験ではローダミンBを用い、水路側方からスリット光を照射して水路上方よりビデオカメラで撮影した。濃度拡散実験ではメチレンブルーを内径1.5mmの真ちゅう管より一定量放流し、光学式濃度計を用いて各点での濃度を計測した。なお、放流の際は水流の流速と同じになるように細心の注意が払われた。

3、平均流速特性 本実験では合流地点で混合前の壁面境界層は十分発達しており、その速度欠損のために各ケースとも合流直後で後流的挙動が見られた。図-1は後流の影響を調べたものである。縦軸は低速側流速 U_2 とその断面最小流速 U_{\min} の差を U_2 で無次元化して x/θ_1 (ここに θ_1 は高速側初期運動量厚)に対して図示した。流速比が大きいほど後流の影響が下流まで続き、完全な混合層型に移行するまでには合流地点からある距離を要することがわかる。混合層の流速分布は自己保存特性を示すことが知られている。²⁾ いま、混合幅を $\delta=(U_1-U_2)/(U/\eta)_{\max}$ を定義し、それを $x-x_0$ (x_0 は仮想原点)に対して図示したのが図-2である。混合幅は直線的に増加し、流速比が大きいほど減少する傾向にある。図-3は $\delta y/(x-x_0)$ に対する無次元流速分布である。初期断面では後流の影響のため自己保存特性は見られないが、 $x/\theta_1 \geq 50$ ではほぼ相似形となる。次に図-4に乱れ強度 u'/U_{\max} の等値線図を示す。各ケースとも乱れのピークは合流直後の高速側に少しずれた所が最大となり、流速分布からわかるようにここが最大速度勾配となる。流下方向に対しては流速比が小さいほど下流まで乱れ強度が大きく、渦運動が活発で混合拡散が進んでいると予想される。

4、組織渦の可視化 前述の平均流速や乱れ特性には組織渦運動の影響が考えられ、以下で組織渦の可視化結果を考察する。合流直後には一つの筋として放流された染料は速度勾配によるせん断効果を受け脈動するようになり不安定波が発生する。やがて染料の集中部分が核となりroll-upし渦を形成する。これらの渦は移流されながら発達し、時には合体を行ないながら大規模な渦に成長する。そして、徐々に渦としての性質を失い崩壊してゆく。本実験では流速比が0.8以上になると大規模な組織渦は形成されず小規模で反回転渦対などの後流的挙動を示した。このため以下では流速比が0.6以下の解析を行なった。図-5に渦の平均中心位置を示す。これより渦は高速側約0.5cm付近で発生し下流へ移流されることがわかる。前述の点計測の結果、この位置で乱れ強度及び流速勾配が最大となっており両者には密接な関係があると思われる。図-6に渦の発生位置 l_p/θ_1 と第一回目の合体位置 l_c/θ_1 を示す。流速比が増加すると発生位置は下流へずれる。これは流速比が大きいほどせん断力が弱まり、移流効果が大いいためと考えられる。一方、第一回合体位置は各ケースともバラツキが大きく、幅広い範囲で合体が行なわれていることがわかる。次に図-7に渦径の変化を示す。各ケースとも $x=20\text{cm}$ 程度まではほぼ直線的に増加しその後鈍化する。しかし $x=20\text{cm}$ ではまだ渦の崩壊領域ではなく、渦の成長が止った段階と思われる。 x 方向の渦径 λ_x の方が y 方向の渦径 λ_y より大きく渦は流下方向に歪んだ楕円型をしている。渦径の増加率は流速比が大きいほど小さく、前述の混合幅と同

様の挙動を示し、組織渦の成長に伴い混合層が発達することがわかる。

5、スペクトル解析結果 ホットフィルムから得られた流速変動 u, v の周波数スペクトルをFFT法によって計算した。その一例が図-8である。本実験では各ケースとも u 変動よりも v 変動のスペクトルの方がピーク特性が明瞭だった。これは v 変動の方が渦のroll-upをよく表すためと考えられる。 v スペクトルの最大値を示す周波数 f を $St=f\theta_1/U_1$ で流下方向に示したのが図-9である。比較のため可視化から求めた値も併示した。ストローハル数 St は流下方向に対して階段状に減少し、その割合はほぼ $1/2$ である。スペクトル解析から組織渦の合体によりスペクトルのピークに半減現象が表われ、エネルギーが低周波部へ移行する特性がわかる。

6、濃度拡散実験の結果 $y=2\text{cm}$ から染料を点源放流した場合の平均濃度分布を図-10に示す。染料を含む環境水が渦運動に取り込まれ流下するに伴い濃度ピークがほぼ $y=0$ の軸上に移動する。一方、図-11は中央軸 $y=0$ からの放流の無次元濃度分布である。中央軸からの放流はほぼ左右対称に拡散し、実線で示したガウス分布に一致するようになる。この半値幅はほぼ $x^{1/2}$ に比例して増加するが $x > 20\text{cm}$ で渦径と同様に抑えられる結果が得られた。以上から $x < 20\text{cm}$ では活発な渦運動により染料の混合は促進されるものと考えられる。

7、あとがき 本研究では開水路合流部の組織渦に注目してその挙動を点計測及び可視化観測から検討した。組織渦は流速比が小さいほど活発であり流体の混合も著しい。また、明瞭な周波数ピークが存在し渦が合体すると半減現象がおこる。今後は、合流地点の境界条件が組織渦の挙動に及ぼす影響を検討したい。

参考文献 1) Winant s (1974), JFM, vol. 63, pp. 237-255 2) Brown s (1974), JFM, vol. 64, pp. 775-816

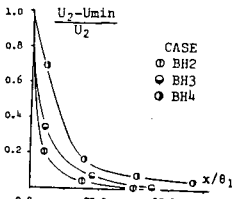


図-1 後流の影響

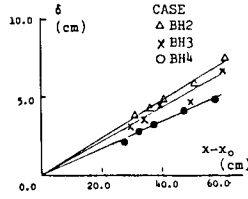


図-2 混合幅の増加

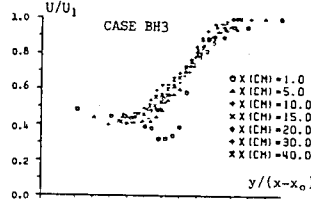


図-3 平均流速分布

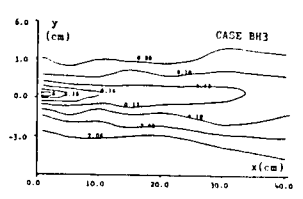


図-4 乱れ強度の等値線図

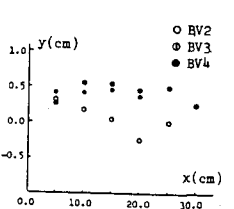


図-5 渦の平均中心位置

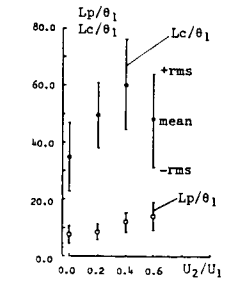


図-6 渦の発生・合体位置

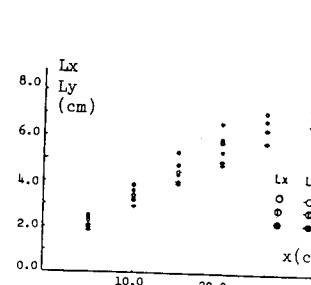


図-7 渦径の変化

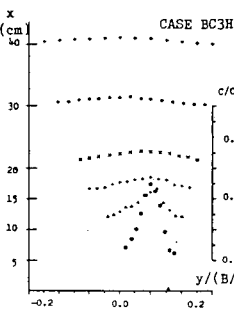


図-10 平均濃度分布

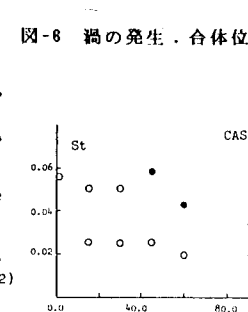


図-9 Stの変化

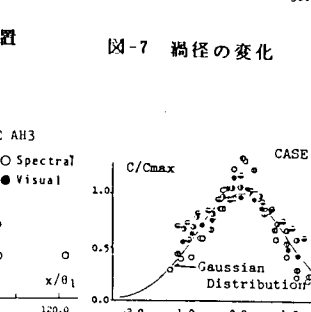


図-11 無次元濃度分布

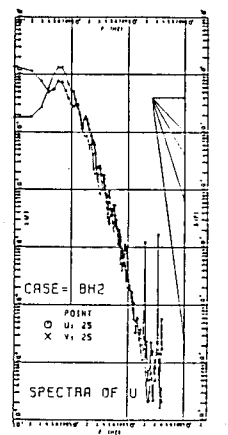


図-8 周波数スペクトル