

II-204

合流部の組織渦とその人工制御

京都大学大学院 学生員 藤井 信宏
 京都大学工学部 正 員 中川 博次
 京都大学工学部 正 員 橋津 家久

1. まえがき 実河川の合流部における混合層では、組織渦が流体の混合や物質の乱流拡散に深く関わっていると考えられることから、組織渦の人工制御法を開発することは水工学的に極めて重要な課題である。この課題に取り組む第一歩として、本研究は流入条件を系統的に変化させたときに、外部攪乱を人工的に与えることによって、組織渦がどのような変化特性を示し応答するかを、二層が平行に合流する開水路流れに関し、可視化実験及び点計測実験から検討し、組織渦の制御法を開発する緒とするものである。

2. 実験方法 長さ15m、幅50cmの水路が厚さ1mmの鉄板によって水路上流端から8.8mにわたって二分された。仕切られた両水路の流量は各々独立して任意に設定できる。組織渦に及ぼす仕切り板の後流の影響を抑える目的で、合流地点までに縮流装置が設けられた。合流地点には振動数が可変な振動装置が設置された。実験条件を表-1に示す。h は水深、

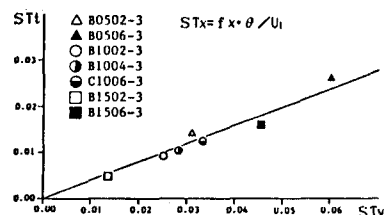
U_1 は高速側流速、 U_2/U_1 は流速比、f は強制振動数を表す。可視化実験ではトレーサーである染料ローダミンBが合流地点から放流され、可視化された渦は水路上方からビデオ撮影された。点計測実験では2成分X型hot-film流速計が用いられ、表-1の*印は3横断面及び中央縦断面の計65測点について、**印は初期断面及び中央縦断面の計23測点について測定された。染料の放流及び点計測の水深方向の高さzは $z/h=0.8$ とされ、水路勾配は水平とされた。

3. 実験結果及び考察 合流部に強制振動を与えた場合、制御された渦が発生する。この渦を『制御渦』と定義するとともに、自然状態で生じる渦を『自然渦』と定義する。可視化された組織渦を定性的に観察したところ、強制振動を与えない状態では、組織渦の発生は間欠的で、不安定波のまま移流したり、連続した渦列を形成したりすることと、一旦発生した渦は成長したのち前後の渦と合体し、より大きな組織渦となって下流に移流されていくことがわかった。また強制振動を与えた状態では、低周波数の強制振動では、まず自然渦が発生し、それらが合体したのち制御渦に成長するが、徐々に強制振動数を増加させていくと、自然渦の発生が抑制され、制御渦のみが発生することがわかった。つまり自然渦と制御渦が混在する場合と、制御渦のみが発生する場合の2種類がある。この

結果は、過去の実験結果と一致する¹⁾。その2種類の遷移の強制振動数を遷移周波数 f_t と定義する。各ケース5通りの強制振動を与えたが、その中に遷移周波数 f_t が含まれるように、実験中に渦の挙動を見ながら細心の注意を払って決定したものが表-1の強制振動数である。強制振動を与えない状態において、安定して自然渦が発生する断面における渦通過平均周波数を f_v とする。 f_t 及び f_v のストローハル数をそれぞれ St_t 及び St_v として、これらの関係を表したものが図-1である。プロットされた点が原点を通る直線上にほぼつ

表-1 実験条件表

CASE	h (cm)	U ₁ (cm/s)	U ₂ /U ₁	強制振動数 f (Hz) とそれに対応するケース番号 -N						
				-0	-1	-2	-3	-4	-5	
B1002	10	10	0.2	0.00	0.25	0.40	0.55	0.70	1.00	*
B1004	10	10	0.4	0.00	0.20	0.40	0.70	1.50	2.00	**
B1006	10	10	0.6	0.00	0.40	0.70	1.00	1.50	2.00	*
B0502	10	5	0.2	0.00	0.15	0.20	0.40	0.55	0.70	**
B0506	10	5	0.6	0.00	0.20	0.40	0.55	0.80	1.00	*
B1502	10	15	0.2	0.00	0.40	0.70	1.00	1.50	2.00	**
B1506	10	15	0.6	0.00	1.00	1.20	1.50	1.70	2.00	*
C1006	15	10	0.6	0.00	0.40	0.70	1.00	1.50	2.00	**

遷移周波数 f_v 図-1 St_t と St_v の関係

ていることが興味深い。STIはSTvのほぼ1/3である。なおストローハル数の長さスケールとして、高速側の運動量厚 θ を用いた。図-2は、B0506の渦発生位置及び合体位置の平均及び分散を示したものである。強制振動を与えると、自然渦の発生位置は振動を与えないときより上流側になるとともに、合体が促進されている。また強制振動数が大きくなるにつれて、制御渦の発生位置は上流側となることもわかる。さらに制御渦はほとんど合体することなしに崩壊に至っている。自然渦は間欠的に発生するのに対し、制御渦の発生周波数は強制振動数にはほぼ一致して規則正しく発生していることより、渦の合体は発生の間欠性に深く関係していると考えられる。図-3は無次元流速分布である。混合層では一般に自己保存則が成り立つが、B1506-0では混合層型になっていないのに対し、B1506-3では混合層型になっていることより、強制振動によって後流の影響を打ち消すことができるといえる。図-4は、B1002の渦径を示したものである。自然渦が発生する場合は強制振動数が大きいほど自然渦の渦径は抑制されることと、強制振動数が小さいほど制御渦の成長が促進されることがわかる。また高周波数の振動を与えると、合流部近傍では振動を与えないときより渦径が大きいが崩壊しやすいのに対し、低周波数の振動を与えると、制御渦の発生位置は下流側になるが崩壊しにくいことがわかる。

4. あとがき 以上のことから、合流部で振動を与えることにより組織渦を制御することができることが判明した。合流部近傍においてのみで流体の混合を促進したい場合は高周波数の強制振動を与え、下流をも含めた長い距離で混合を促進したい場合は低周波数の強制振動を与えれば良いと考えられる。また、遷移の強制振動数は自然発生周波数と深く関係していることがわかった。

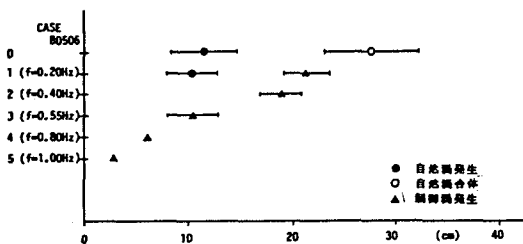


図-2 渦発生位置及び合体位置

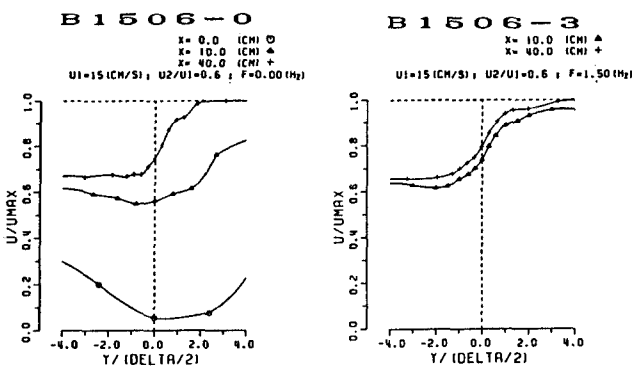


図-3 無次元流速分布

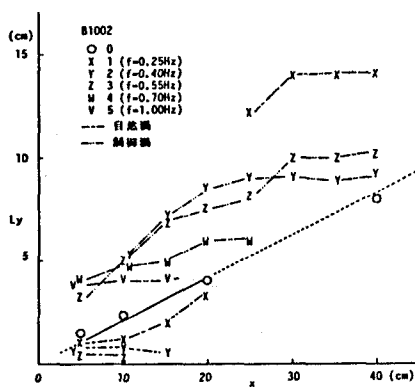


図-4 渦径

参考文献 1) 中川、瀬津、室屋、松本(1987)：

開水路合流部の混合層における乱流構造

と組織渦の制御に関する研究、土木学会論文集 第387号、pp.153-162.