

開水路合流部の混合層における組織渦とその制御に関する研究

京都大学工学部 正 員 中川 博次
 阪 急 電 鉄 正 員 松本 利典
 京都大学大学院 学生員○藤井 信宏

京都大学工学部 正 員 禰津 家久
 京都大学大学院 学生員 金澤 文彦

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に大きな役割を果たしていると考えられる。そこで、流入条件を系統的に変化させたときの組織渦の特性について、可視化実験及び点計測実験を通じて検討する。また、組織渦を制御することによって流体の混合を促進あるいは抑制させることは水工学的意義が高いため、合流部に外部攪乱を与えることによる組織渦制御についても同様に検討する。

2. 実験方法 長さ15m、幅50cmの水路の中央を厚さ1mmの鉄板で二分し、水路上流端から8.8m下流で合流させた。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。合流地点までに縮流装置を設け、仕切り板の後流の影響を抑えた。合流地点には振動数が可変な振動装置を設置した。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。可視化実験はトレーサーとして染料ローダミンBが用いられ、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。点計測実験は2成分X型hot-film流速計が用いられ、実験2では3横断面及び中央縦断面の計65測点について、実験3で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 可視化された組織渦を定性的に観察した結果、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がわかった。組織渦が安定して発生する断面における渦通過周波数を f_v と定義する。 f_v と流入水理条件の関係を表したものが図-1である。 U_1 が大きいほど f_v が大きくなり、 U_2/U_1 が大きい(流速差が小さい)ほど f_v が大きくなっていることがわかる。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、自然に生ずる渦を『自然渦』と定義する。定性的観察を行ったところ、低周波数の強制振動を与えると、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、自然渦の発生は抑制され、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存在する場合の2種類がある。これは過去の実験結果と一致する¹⁾。また制御渦の発生位置は、強制振動数の増加とともに上流側へ移行することがわかった。さらに制御渦は、規則正しく発生し、その発生周波数は強制振動数にほぼ一致しているとともに、ほとんど合体せずに崩壊に至ることもわかったが、この事実より渦の合体は、渦発生の間欠性によるところが大きいと考える。図-2は強制振動を与えた場合の渦径を示したものである。定性的観察結果を端的に表している。またこの図より、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の成長が抑制されることと、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。高周波数の強制振動を与えると、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、低周波数の強制振動を与えると、制御渦の発生位置は下流側になるが崩壊しにくい。渦径が混合層の幅と密接に関連している点と併せて考えると、合流部近傍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よいといえる。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、H10及びH30を比べると、 U_2/U_1 が大きい(流速差が小さい)方が下流側まで混合層型でない、

Hiroji NAKAGAWA, Iehisa NEZU, Toshinori MATSUMOTO, Fumihiko KANAZAWA & Nobuhiro FUJII

つまり後流の影響が下流側まで現れていることがわかる。また H33は $x=10\text{cm}$ で混合層型になっている点から、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。与える強制振動数によって組織渦の発生は2種類に分けられることは前述したが、その遷移の強制振動数を遷移振動数 f_t と定義すると、自然渦発生周波数 f_v との関係は図-4のようになる。プロットされた点がほぼ原点を通る直線上に存在しているところが興味深い。 f_t は f_v の約 $1/3$ である。

4. あとがき 本研究によって、組織渦の発生には、2流体の流入水理条件が大きく関与していることがわかった。また、合流点で強制振動を与えることによって2流体混合を促進あるいは抑制することができるが、その遷移の強制振動数は、自然発生する渦の周波数と密接に関係していることがわかった。

《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.

表-1 実験条件表

可視化実験(実験1)

CASE	強制振動数(f)とそれに対応するターム番号-(4)				
	-(1)	-(2)	-(3)	-(4)	-(5)
B1002	0.00	0.25	0.40	0.55	0.70
B1004	0.00	0.40	0.70	1.00	1.30
B1006	0.00	0.40	0.70	1.00	1.30
B1008	0.00	0.70	1.00	1.30	1.60
B1010	0.00	1.00	1.30	1.60	2.00
B0002	0.00	0.25	0.40	0.55	0.70
B0004	0.00	0.40	0.70	0.95	1.00
B1002	0.00	0.40	0.70	1.00	1.30
B1004	0.00	1.00	1.30	1.60	2.00
C1006	0.00	0.40	0.70	1.00	1.30

点計測実験(実験2)

CASE	W(m)	H(cm)	U_1 (m/s)	U_2 (m/s)	f (Hz)
B10	10	10	0.2	0.30	
B11	10	10	0.2	0.25	
B12	10	10	0.2	0.20	
B13	10	10	0.2	0.15	
B14	10	10	0.2	0.10	
B15	10	10	0.2	1.00	
B20	10	5	0.2	0.30	
B21	10	5	0.2	0.25	
B22	10	5	0.2	0.20	
B23	10	5	0.2	0.15	
B24	10	5	0.2	0.10	
B25	10	5	0.2	1.00	
B30	10	15	0.2	0.30	
B31	10	15	0.2	0.25	
B32	10	15	0.2	0.20	
B33	10	15	0.2	0.15	
B34	10	15	0.2	0.10	
B35	10	15	0.2	1.00	

点計測実験(実験3)

CASE	W(m)	H(cm)	U_1 (m/s)	U_2 (m/s)	f (Hz)
B10	10	10	0.2	0.30	
B11	10	10	0.2	0.25	
B12	10	10	0.2	0.20	
B13	10	10	0.2	0.15	
B14	10	10	0.2	0.10	
B15	10	10	0.2	1.00	
B20	10	5	0.2	0.30	
B21	10	5	0.2	0.25	
B22	10	5	0.2	0.20	
B23	10	5	0.2	0.15	
B24	10	5	0.2	0.10	
B25	10	5	0.2	1.00	
B30	10	15	0.2	0.30	
B31	10	15	0.2	0.25	
B32	10	15	0.2	0.20	
B33	10	15	0.2	0.15	
B34	10	15	0.2	0.10	
B35	10	15	0.2	1.00	

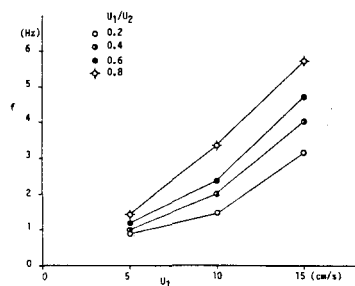


図-1 渦発生周波数

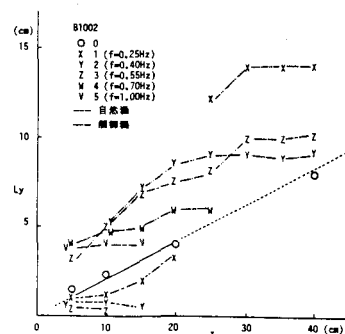


図-2 渦径

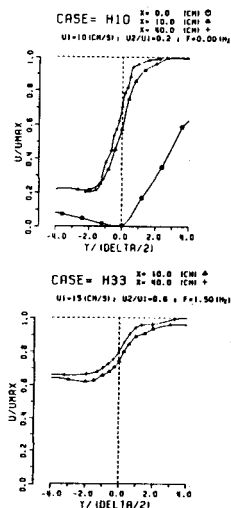


図-3 無次元流速分布

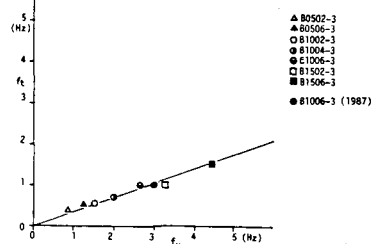


図-4 f_v と f_t の関係