

複断面水路の乱流構造に関する研究

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
建設省 正 員 〇村瀬 勝彦
京都大学大学院 学生員 佐伯 賢一

1.はじめに 開水路複断面水路における乱流構造の研究は、乱流研究という観点よりもおもに河川工学的な要求、特に高水敷部分が流れに対しておよぼす抵抗を調べる研究が中心的なものであった。しかし、複断面水路での高速流と低速流の接触面における流れの不安定性に注目し、相互の運動量、物質交換をみていこうとする研究も盛んに行われ、今本・石垣¹⁾(1990)は二次元セル(高水敷と低水路の接合部近傍で生じる斜昇流により誘起される渦)をタイプ別に分類し、高水敷と低水路の境界部分に間欠的に発生する斜昇流のメカニズムについて示唆を行っている。本研究は高水敷と低水路の境界部の組織渦を定量的に解明していこうとするものであり、まず可視化によって定性的な構造を解明し、それに適合するように点計測で組織渦をとらえることにする。

2.実験方法 全長8m、幅30cmの勾配可変型水路を用いて実験を行った。まず、可視化による定性的な挙動の観察のために表1のように断面形状を4種類に変えて計19種類のケースで染料を流して実験を行った。ただし、dは高水敷高さ、Bは高水敷幅である。撮影は、水路上方および側面から行った。その結果を踏まえて、レーザー流速計、光学式濃度計、可視化の同時計測を行った。このときの断面形状は2種類であり、計3種類のケースで表2に示した。そして、それぞれについて染料の広がる範囲をカバーするように濃度計の測点を決め、LDAは一点に固定した。

3.定性的考察 組織渦が発生して広がっていく過程には図1のように2種類のタイプに分類できた。Type Aはいわゆる斜昇流であり、高水敷頂部付近から水面に至るまで比較的強い間欠的な現象であった。Type Bは高水敷に沿って弱く染料が拡散するものである。この分類と水理条件との関係の一つとして図2に示した。この図より高水敷の高さが組織渦の発生と関係があることがわかる。

断面形状	ケース名	流量Q [l/SEC]	水深h [cm]	平均流速 [cm/sec]	勾配
A d=25mm B=80mm	A-1	3.44	4.4	30.7	1/100
	A-2	3.28	3.8	34.7	1/1000
	A-3	2.64	3.4	32.2	1/1000
	A-4	3.90	4.4	34.8	1/1000
	A-5	2.17	5.2	4.4	1/1000
	A-6	1.62	5.1	12.2	1/1000
	A-7	1.62	7.3	8.1	1/1000
	A-8	1.50	5.1	11.3	1/1000
B d=10mm B=80mm	B-1	1.49	2.0	28.1	1/1000
	B-2	1.59	4.0	14.2	1/1000
C d=21mm B=213mm	C-1	3.19	4.3	35.7	1/1000
	C-2	1.05	2.8	31.5	1/1000
	C-3	1.50	4.2	18.5	1/1000
	C-4	0.78	2.7	21.5	1/1000
	C-5	4.00	5.1	28.9	1/1000
	C-6	0.85	2.6	25.5	1/1000
D d=40mm B=80mm	D-1	1.42	8.5	8.7	1/1000
	D-2	1.93	6.5	11.6	1/1000
	D-3	4.00	7.8	19.8	1/1000

表1 実験条件表(可視化のみ)

断面形状 (Shape)	ケース名	流量Q [l/SEC]	水深h [cm]	平均流速 [cm/sec]	勾配
A	A	2.15	5.0	19.9	1/1000
B	B	2.15	8.0	12.3	1/1000
B	C	2.15	6.0	16.8	1/1000

Shape A: d=28mm B=150mm Shape B: d=43mm B=150mm

表2 実験条件表(同時計測)

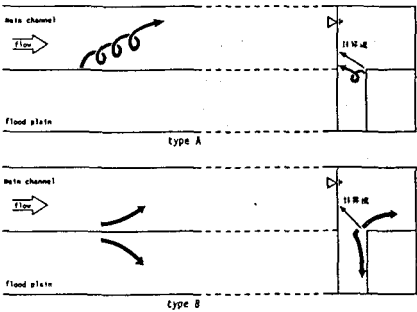


図1 組織渦の空間構造の分類

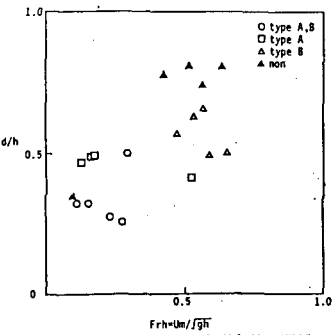


図2 組織渦の発生と水理条件の関係

4. 同時計測の結果とその考察

(a) 従来型相関値の分布：流速と濃度の変動成分の伝播の度合を変動成分の相関の大きさでとらえ組織的な挙動を空間的にとらえることができる。ここで用いる時空間相関係数は、

$$C_{u_i, u_j}(\Delta x, \Delta y, \Delta z, \tau) = \frac{u_i(x_0, y_0, z_0, t_0) u_j(x_0 + \Delta x, y_0 + \Delta y, z_0 + \Delta z, t_0 + \tau)}{u_i'(x_0, y_0, z_0) u_j'(x_0 + \Delta x, y_0 + \Delta y, z_0 + \Delta z)}$$

この結果の一例を図3a, bに示した。この両者を比較すると、aの方は相関の高い部分が間欠的に起こり、かつ移流されている様子がよくわかる。それに対して、bは主流方向の移流ははっきり観察されず、むしろ横断方向(z方向)にパターンが存在して周期的に変化していることがわかる。

(b) 条件付きサンプリング手法によるしきい値の計算：流速の生の波形データにある条件を与えて、その条件を満たすもののみについてデータ処理を行う。組織的な挙動の発生するときは、流速変動が特に大きくなっていることが考えられるので、ここでは波形データの瞬間的な $u(t)v(t)$ を計算して、 $u(t), v(t)$ の正負および $|u(t)v(t)|$ の大きさを条件として用いることにした。 $u(t), v(t)$ の正負は

- ① $u(t) > 0, v(t) > 0$
- ② $u(t) < 0, v(t) > 0$
- ③ $u(t) > 0, v(t) < 0$
- ④ $u(t) < 0, v(t) < 0$

の4象限に分け、各象限について可視化から得られた組織渦の発生周期に合致するようにしきい値 H_1, H_2, H_3, H_4 を計算してその頻度分布は図4に示した。この図より、しきい値としては第2象限のものを採用するのが適当であり、その値は $H_2 = 4.0$ と考えられる。

5. おわりに 複断面水路の組織構造を定量的にとらえるために、相関値の計算および条件付きサンプリングを行ったが、特に条件付きサンプリング手法については、求めたしきい値を用いて濃度のアンサンブル平均を求めるなどして、組織渦の空間構造把握をさらに行う必要がある。

〔参考文献〕1) 今本博健・石垣泰輔：複断面開水路流れの斜昇流に関する実験的研究，水工学論文集 第34巻，pp403-408, 1990

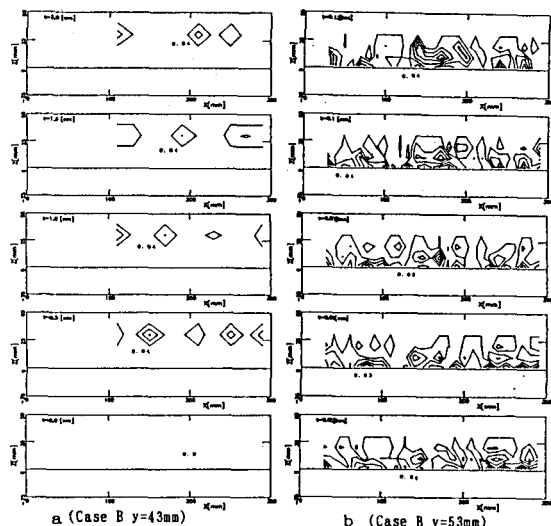


図3 染料の濃度の変動と流速変動との時空間相関

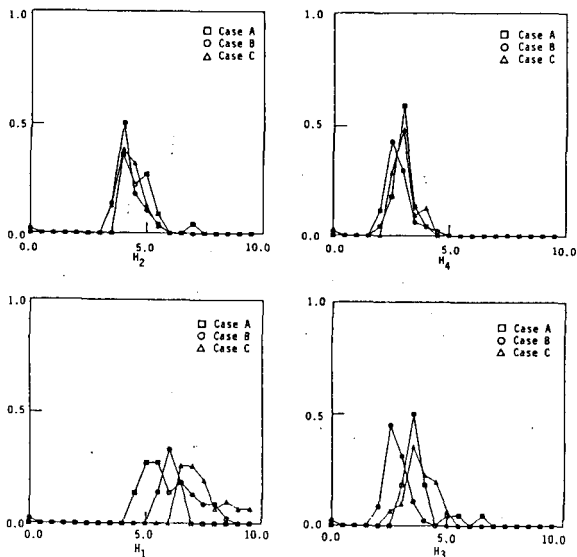


図4 各象限のしきい値の頻度分布