

II-366

複断面開水路流れにおける低水路流れと高水敷流れの混合機構について（第2報）

京都大学防災研究所 正 員 石 垣 泰 輔

京都大学防災研究所 正 員 今 本 博 健

1.はじめに：複断面開水路流れでは、低水路と高水敷上流れの速度が異なるために境界部で流体の混合が生じ、流れの抵抗が増加する。既報^{1), 2)}では、横断面内流況の可視化結果をもとに、低水路流れと高水敷上流れの混合機構を検討し、2種の混合機構が存在することを指摘するとともに、それらの時系列変化についても検討した。なお、2種の混合機構とは、2次元混合層に見られるような横断方向のスケールの大きな混合機構と、複断面流れに特有の斜昇流により引き起こされる流体の混合機構である。本報告は、これらの2種の混合機構を他の方法で得られた結果で確認するとともに、それぞれの統計的特性を検討し、類似する2次元混合層の流れとの相似性を利用して混合幅・中心位置について検討するのが目的である。

2.実験的検討方法：流れの可視化には、混合域水面におけるカメロン効果を利用した速度の瞬間分布および渦の移動撮影、水路下流端に設置した観測窓を通して、スリット状の光により照明された流れの横断面内における中立粒子あるいは水素気泡の挙動を35mmスチルカメラおよびビデオカメラにより撮影法を用いた。得られた結果を処理し、2次元混合層において発生する渦の間隔について検討したBrown & Roshko³⁾などの従来の結果と比較検討し、複断面流れにおける低水路流れと高水敷上流れの混合現象と2次元混合層における現象との相似性について検討した。また、レーザ流速計により速度の横断分布を計測し、混合幅および中心位置を2次元混合層に対するGoertlerの速度分布式と比較する方法で検討した。表-1に水理条件を示す。

3.結果および検討：図-1は、カメロン撮影法により得られた水面での流下方向速度分布である。図では、低水路内の主流部、高水敷上の低速部および境界部の局所的低速部に模様を付けて示している。境界部付近を混合域と呼ぶと、混合域では高水敷上の低速流体と低水路の高速流体が横断方向に混合するスケールの大きな現象と、低水路内に少し入った位置で縦断方向に並ぶ局所的低速部の存在が見られる。この結果が水面におけるものであることを考慮すると、局所的低速部は下方より斜昇流により輸送された低速流体が水面に達したことを示すものと考えられる。この結果より、混合域では2種の混合機構が存在することが確認され、既報で指摘した結果の妥当性を示している。

表-1 水理条件

Case No.	Slope I	Discharge Q(l/sec)	Channel width B(cm)	Water depth H(cm)	Flood-plain width b(cm)	Flood-plain height h(cm)	Reynolds number Re	Froude number Fr
1	1/1000	24.50	100.0	9.3	40.0	6.0	22300	0.47
2	1/1000	1.45	40.0	3.0	12.0	2.0	2690	0.37
3	1/800	1.35	39.0	4.0	12.0	2.0	3630	0.16
4	1/800	2.42	39.0	3.0	12.0	2.0	5380	0.60
5	1/800	3.35	39.0	3.5	12.0	2.0	7290	0.61
6	1/800	4.21	39.0	4.0	12.0	2.0	8950	0.61
7	1/800	5.32	39.0	4.5	12.0	2.0	11080	0.63
8	1/800	6.25	39.0	5.0	12.0	2.0	12760	0.63

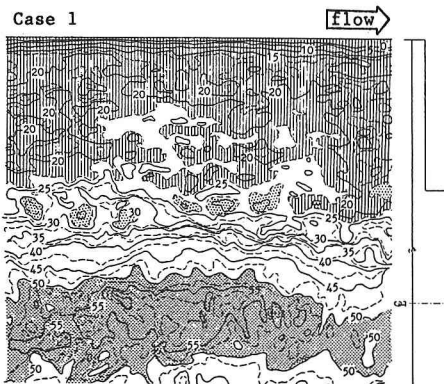


図-1 水面における速度分布

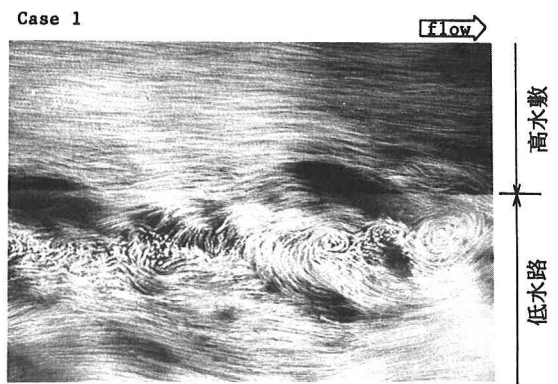


写真-1 境界部の渦の撮影例

次に、移動撮影により得られる境界部での水面渦について見ると、写真-1に示すように速度差に起因する流体の混合が観察され、流下方向に並ぶ渦構造が存在することが分かる。これらの渦の流下方向間隔は、図-2に見られるように正規分布（破線）ではなく対数正規分布（実線）し、2次元混合層を対象として得られたの結果と一致する。しかしながら、この結果では、前述した2種の混合機構が混在し、それぞれを分離することはできない。これらを分離して検討するため、横断面内の流況可視化結果を用いた。

高水数先端において鉛直に張った白金線より発生する水素気泡列が形成するパターンは、図-3の様に4種に分類することが出来る。AおよびBは、水平方向のスケールの大きな混合を、CおよびDは鉛直方向の運動を伴う混合を示し、これらの2種の混合はほぼ同じ割合で発生する（図中の帯グラフ）。

図-4は、これら2種の混合の発生時間間隔分布を示したものであり、図-2と同様に対数正規分布することが示され、2種の混合機構が同様の統計的特性を持つことが示されている。

図-5は、高水数上水深の半水深高さにおける平均速度の横断分布であり、2次元混合層に対して得られている Goertler の流速分布式（図中実線）と計測結果を比較して示している。ここに、 H は低水路水深、 h は高水数高さ、 U_m は低水路内の混合域外部の平均流速、 U_z は高水数上の混合域外部の平均流速、 L_z は混合幅の代表スケール、 L_o は混合域の中心と高水数先端の距離である。この図は、 L_z および L_o を変化させて最も計測値に一致する L_z と L_o の組み合わせを試行錯誤によって決定した結果である。このケースでは高水数上の一部を除けば良好な一致を示している。なお、高水数水深と低水路水深の比が大きくなるにつれて高水数上の分布は Goertler の分布式との一致が悪くなる。これは、斜昇流による混合が相対的に強くなるためと考えられる。一方、混合域の中点と高水数端との距離 L_o および混合幅の $\frac{1}{4}$ に相当する L_z は、図-6のような整理方法を用いるとほぼ一定値を示し、高水数高さ h が重要なパラメータであることを示している。

参考文献：1) 石垣、今本、武藤、福本、第45回年講、II-151, 1990. 2) 今本、石垣、京大防災年報、第33号B-2, pp.559-569. 3) Brown, Roshko, J.F.M., Vol.64, pp.775-816, 1974.

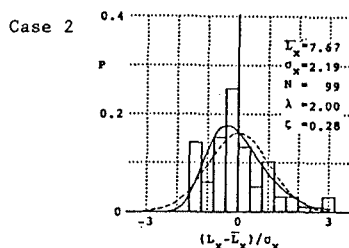


図-2 渦間隔の分布

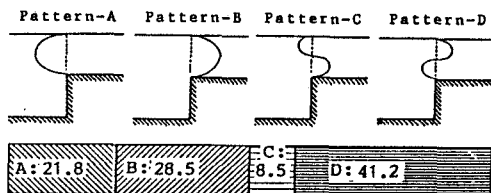


図-3 水素気泡法で得られた4パターン

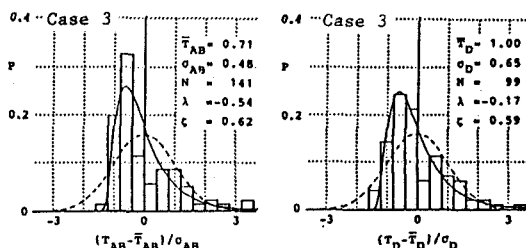


図-4 混合パターン別の発生時間間隔の分布

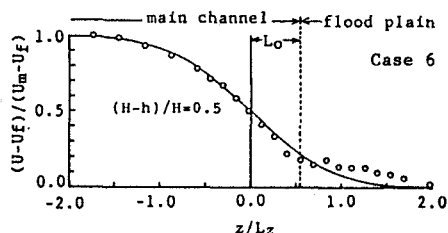


図-5 混合域の速度分布

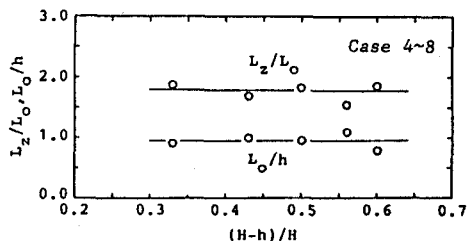


図-6 混合幅 (L_z) および混合中心位置 (L_o)