

II-103 複断面開水路流れの速度分布について

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：複断面開水路流れの低水路と高水敷の境界部では流体が混合するため、3次元流れとなる。境界部の混合機構について、横断面流況の可視化結果に基づいて検討してきた結果¹⁻³⁾、2種の混合機構が存在することを指摘した。すなわち、第1の混合機構は、2次元混合層と同様に水平方向の速度差に起因する2次元的な流体混合であり、第2の混合機構は、高水敷先端に生ずる斜昇流に起因する縦渦による流体混合である。このように、境界部の流れは複雑であり、速度の横断分布も極大値と極小値を有する分布となっている。本報では、2種の混合機構が存在する境界部の速度分布を、既報の可視化法による流れの構造に関する知見と、LDAによる速度3成分同時計測結果および流下方向速度の横断分布計測結果に基づいて、その表示方法について検討するとともに、水位～流量曲線についての検討結果を示す。

2.実験的検討方法：実験には2種類の変可勾配直線水路（AおよびB水路）内の左岸側に、高さ $h=2.1\text{cm}$ の高水敷を設置して複断面水路として用いた。水路Aは、長さ13m、幅39cmの亚克力樹脂製の水路であり、計測部の側壁および底面をガラス製としており、幅12cmの高水敷を設置した。水路Bは、長さ8m、幅40cmの側壁ガラス製の水路であり、幅20cmの高水敷を設置した。いずれの水路も勾配を1/800とし、LDAのサンプリング率を90%以上とするために高水敷をガラス製とし、前方散乱方式で計測した。水路Aでは、流下方向速度の横断分布を、サンプリング周波数20Hzでデータ数を500個とした。水路Bでは、サンプリング周波数200Hz、データ数30,720個で速度3成分の同時計測を行なった。

3.実験結果および検討：図-1は、境界部近傍の2次流ベクトルの計測結果を示しており、同図に併示した横断面可視化結果が示す斜昇流によって誘起される2次流セルの存在を示している。図-2は、高水敷半水深高さにおける流下方向速度 U 、乱れエネルギー k 、レイノルズ応力の横断分布を示したものであり、速度分布が極小値・極大値を持つ分布であること、その分布がレイノルズ応力 $-uw$ の分布で説明されることを示している。境界部の流れの構造とレイノルズ応力分布、速度分布の関係を、レイノルズ応力の重ね合わせが可能であると仮定して示すと図-3のようになる。すなわち、



図-1 2次流ベクトルおよび横断面可視化結果

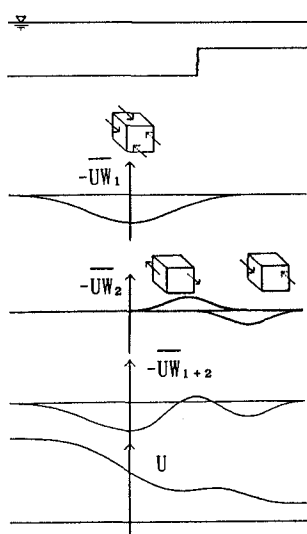


図-3 レイノルズ応力分布と速度分布（概念図）

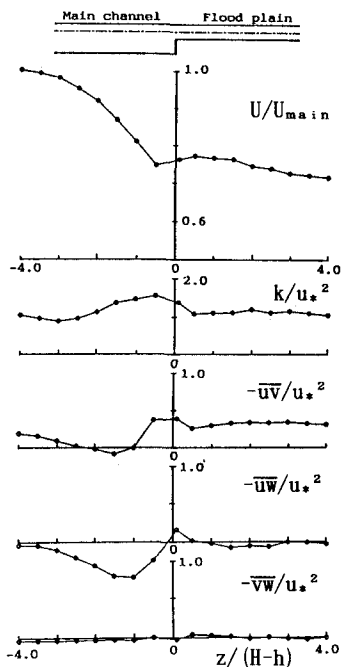


図-2 速度・レイノルズ応力分布

第1の混合機構によってレイノルズ応力 $-uw_1$ が生ずる。また、第2の混合機構によって低水路内の流体が高水敷上に及び、図のようなレイノルズ応力 $-uw_2$ を生ずる。この両者を重ね合わせると $-uw_{1+2}$ で示す分布となり、図-2で示した結果が説明される。これより、極大値と極小値を有する図のような速度分布が得られる。レイノルズ応力分布と速度分布の関係がPrandtlの第2仮定を用いて良く説明されることと、レイノルズ応力分布が指数関数で表示されることを仮定すると、速度分布は、2次元混合層に対する誤差関数を用いたGoertlerの解と同様の表示ができる。すなわち、

$$(U-U_z)/(U_m-U_z)=0.5\{1+\operatorname{erf}(z/L_z)\}$$

である。ここに、 U_m は境界部外の高水敷内平均流速、 U_z は境界部外の高水敷上流れの平均流速、 z は横断方向距離であり、 L_z は横断方向スケールである。図-3に示した考え方にに基づき、低水路水深 H の異なる条件における高水敷半水深高さでの速度横断分布計測結果と計算結果を示したものが図-4である。このようにレイノルズ応力分布、速度分布が流れの構造から説明されることが知れる。

計算上のパラメータは計測結果に一致するように決定したが、第1の混合機構に関連するパラメータ L_z および L_0 は、図-5に示すように、高水敷高さ h で整理すると、低水路水深 H に関わらず直線近似が可能な分布を示している。ここに、 L_0 は第1の混合機構の中心位置を示すパラメータであり、図に示すように、高水敷先端より水面に向かって低水路側に移動する。この点は、図-2に示すようにレイノルズ応力 $-uw$ が最大となり、 $-uv$ および $-vw$ がほぼ0となる位置である。このことは、この面を分割面とし、その面に作用する応力を考慮すれば流量計算が可能であることを示している。結果的には、この面に作用する応力は低水路と高水敷側で相殺され、通水面積で重み付けをした流量計算法となる。図-6に、流量～水深の計測結果を、井田法と、ここで示した低水路水深に応じて分割面の角度が変化する断面分割法で計算した結果を示した。いずれの方法でも実験値と良い一致を示しているが、井田法が図中の+印の実験値を必要とするのに対し、ここに示した断面分割法は、実験値を必要としない点で有用性が高いと言える。

参考文献：1) 石垣・今本・武藤・福本：45回年講，II-151, 1990. 2) 石垣・今本：46回年講，II-366, 1991. 3) 今本・石垣・武藤：水工論文集、第36巻、1992.

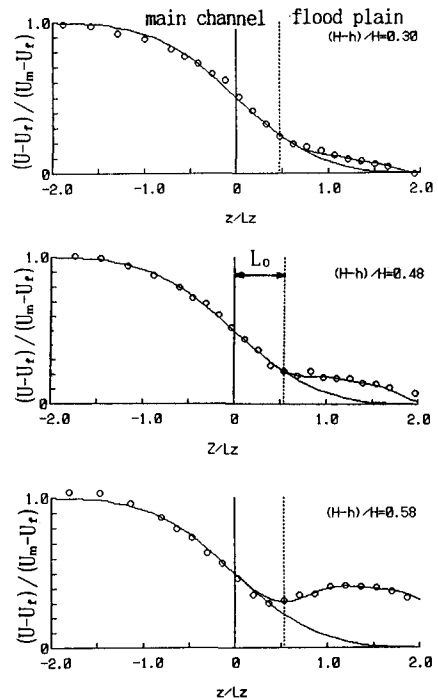


図-4 境界部の速度横断分布

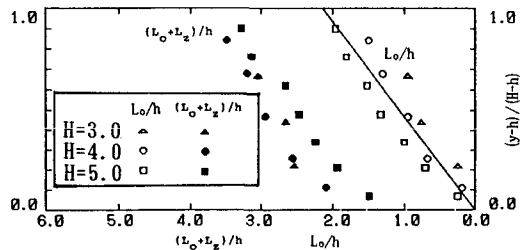


図-5 L_0 および L_0+L_z の分布

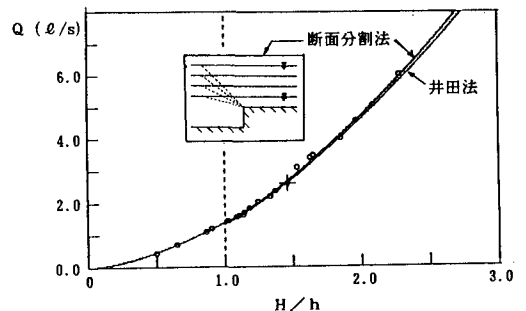


図-6 水深～流量曲線および計測結果