

開水路乱流における水表面パターンと内部構造

中電技術コンサルタント 正員 ○ 前 田 邦 男
 徳山高専 " 大 成 博 文
 " 渡 辺 勝 利
 " 佐 賀 孝 徳

1. はじめに

木下を中心とした1970年代の洪水流航測によって、河川乱流の構造性が本格的に考察され始めた¹⁾。この契機は、吉野川における洪水流の水表面を空撮した際に、そこに筋状を呈する泡のパターンがかすかに観察されたことにあった。この筋状のパターンから、マクロには横方向に水深の2倍の間隔で並ぶという明確なスケール則が見いだされた。この水表面パターンと同様の構造性は、滑面および粗面を有するそれぞれの開水路乱流においても観察された。これらの観察結果を踏まえて、この構造性を有する流れは、「並列らせん流」と呼ばれてきたが、この流れは、木下によって、1989年に「表面流速の遅速の分布が、水深の2倍程度の間隔で縦縞模様を呈する現象」と改めて定義されている²⁾。

ところで、その後の木下の指摘³⁾にもあるように、並列らせん流の内部構造の詳細は不明のままであり、その解明は、並列らせん流の形成機構を考察するために不可欠となる。そこで、本研究においては、水路幅水深比の比較的大きい滑面開水路乱流の水表面パターンとその内部構造に関する若干の考察が試みられた。

2. 実験装置および実験方法

本実験は、長さ15m、幅60cm、深さ15cm、勾配1/1000の開水路で行われた。流速計測には、アルゴンレーザ流速計が用いられた。可視化法には、染料注入法による平面視と横断面視が採用された。水表面の平面視においては、約2cm間隔に30本横方向に並べられたインジェクターが設置された。それぞれのインジェクターの先端を水表面からわずかに離れて置き、そこから染料が注出される際に、染料水滴がはじけて横方向に広がることから、このインジェクターの下流では、水表面全体に染料が一樣に広がり、水表面構造の可視化が可能となった。実験がなされた水理条件は、レイノルズ数3350、水深2.5cmであり、水路幅水深比は約24とした。断面視においては、上流方向に45度傾斜したスリットを挿入し、それを過ぎる流脈パターンをテレビカメラで連続的に撮影した（その概略を図1に示す）。

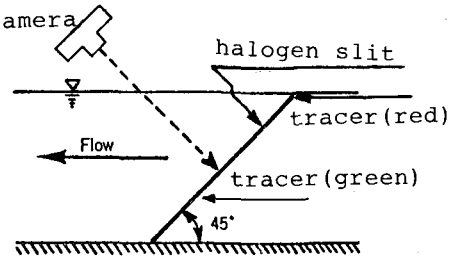


図1 横断面可視化の概略

3. 流速分布計測と可視化の結果

図2には、 $X=480\text{cm}$ の地点における平均流速分布が示されている。平均流速分布は対数則に従い、流れ場はかなりの発達を遂げている。

図3には、水表面の瞬時流脈パターンの一例が示されている。この場合、インジェクターから注出された染料流脈は、流下とともに水表面付近の秩序運動の、さまざまな反映を示すようになる。この流れ場の乱流構造の特徴は、壁近くの内層でヘアピン型（著者らは、壁縦渦と呼称している）の渦構造が形成される一方で、

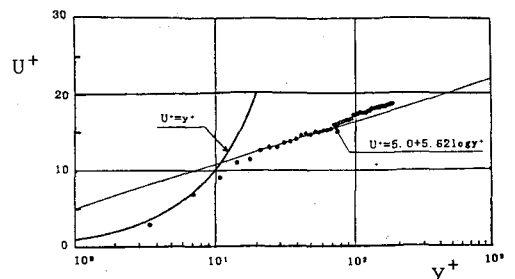


図2 平均流速分布 ($x=480\text{cm}$)

外層には大規模な構造が形成されるという二重の構造性が存在することにあると考えられている。

このような観点に立脚すると、水表面の流脈パターンは、内層から外層に上昇モードで発達した秩序運動が水表面付近にまで到達することによって、染料流脈が押しのけられ、結果として、染料流脈の様子は、上昇水塊同士の間で介在する下降成分を有する高速流体の水表面部に集中してくる。この染料流脈の集中部分は、洪水時の並列らせん流形成の証拠のひとつとみなせる泡による縦筋部分と同じ高速モードを呈することになる。

そこで、染料流脈の連続撮影画像から、瞬時の横方向流速分布が求められた。この場合、瞬時には(0.1秒間隔)染料流脈のパターンはほとんど変化せず、その間の流下距離を読み取ることによって、各点の流れ方向流速が得られる。その一例を図4に示す。これより、流れ方向の乱れ速度は主流の約5~10%程度であり、横方向には、水深とその2倍程度波長での横方向に不均一性が認められる。

次に、図5に、横断面視の一例を示す。同図の各写真は、0.1秒ごとに経過した画像が示されている。白く写る部分は、上流の粘性底層から上昇したトレーサー(ローダミンB)が可視化されたものであり、逆にこの白い部分(s①)の間の緑に可視化された部分(概要集では緑の部分明確には印刷されない)ので、s②で示す)は、上流では水表面のみに注入されたトレーサーが流下とともに下降流に追従してs②に示された部分が壁近くまで到達していることが明らかである。この水深規模の上昇流と下降流が隣同士で対をなす構造は、木下の示した並列らせん流の概念¹⁾と一致する。

もうひとつの注目点は、時間の経過とともに、壁からの上昇する秩序構造が横方向に合体(集中・複合)し、それが発達して水表面にまで達して、ボイル(s③)を形成させていることにある。この一連の大規模構造は、流れ方向には傾斜し、横方向には水深規模のスケールで合体によって形成されている。

参考文献 1)木下良作:並列らせん流に関する実験的研究,石狩川開発建設部,1978. 2)木下良作:洪水時の砂床形態の変化,第33回水理講演会論文集,1989. 3)木下良作:石狩川下流部における洪水時の濁度鉛直分布と流れ構造について,第34回水理講演会論文集,1990.

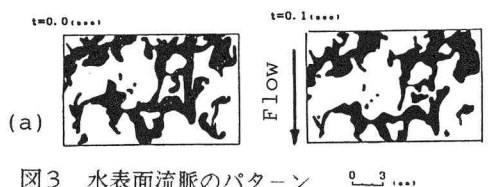


図3 水表面流脈のパターン

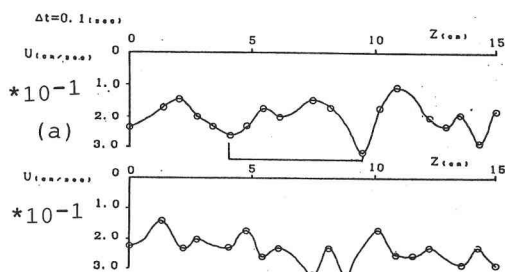


図4 流れ方向瞬間流速の横断分布 S③

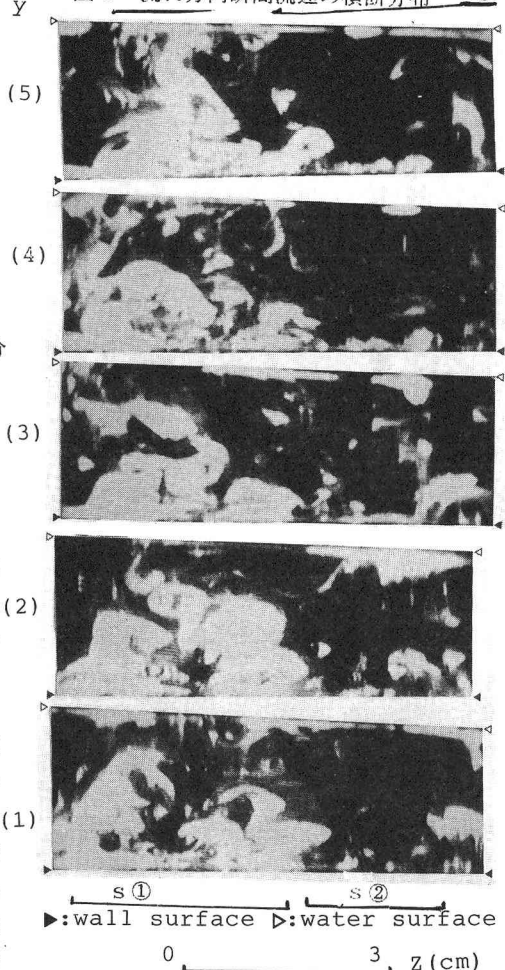


図5 横断面可視化の経時変化($\Delta t=0.1$ (sec))