

直線開水路流れにおける並列らせん流の乱流構造について

京都大学工学部 正員 中川博次
 京都大学工学部 正員 柳本厚久
 京都大学工学部 正員 富井晃宏
 三菱重工業(株) 正員 大石善啓

1. まえがき

流下方向に回転軸を有し横断方向に並列した縦渦，すなわち並列らせん流の存在は古くから東河川で観察され，開水路における大規模乱流のひとつとして泥砂輸送機構，物質拡散，河床形態等に大きな影響を及ぼすものと考えられる¹⁾。ここでは水路横断面に水深の2倍間隔で台形型棧を設置することにより並列らせん流の発生・維持を容易にし，横断面の詳細な点計測を行って並列らせん流の内部メカニズム，運動機構の解明を試みた。また著者が風洞を用いて行，た空気流との相似性・相違点と比較検討した。

2. 実験内容

実験水路は全長8m，幅30cmのアクリル製勾配可変型水路であり，水路全長にわたって棧高0.55cm，上唇1cm，下唇2cmの台形の縦棧粗度を水深 $h=4.0$ cmの2倍間隔で横断方向に設置し，東河川で観察されている並列らせん流による河床形状すなわちsand ridgesを模擬した²⁾。水理条件及び河床条件は風洞実験と同一であり，レイノルズ数 $Re=1.2 \times 10^4$ である。計測は並列らせん流の1対を評価できるように水路中央に位置する2本の棧の間において19断面，12通りの高さについて2成分ホットフィルム流速計を用いて行われた。この結果，主流速($U+u$)，鉛直方向流速($V+v$)，横断方向流速($W+w$)の3成分が測定され，縦渦の横断面の詳細な解析が可能となった。以降本実験をCase-Kと表わす。

3. 並列らせん流の乱流構造

図1に主流速 U の横断方向分布を示す。図から明らかのように，凸部で低速流，凹部で高速流の存在が認められ，その方向に周期的に変化をし，低速流が比較的狭い範囲に集中し高速流が幅広く生じていることがわかる。図2は並列らせん流の平均流速(V, W)をベクトル表示したものである。前述したように凸部上で幅の狭い強い上昇流，一方凹部上で広範囲にわたる弱い下降流の存在が認められ流れの連続条件が満足されている。また凹部中央 $Z=0$ の自由水面付近で見られる弱い上昇流は，自由水面に沿って流れてくる一対の流体同士が衝突して上方への弱い運動成分が生じたことを示している。したがって縦渦の各対同士は

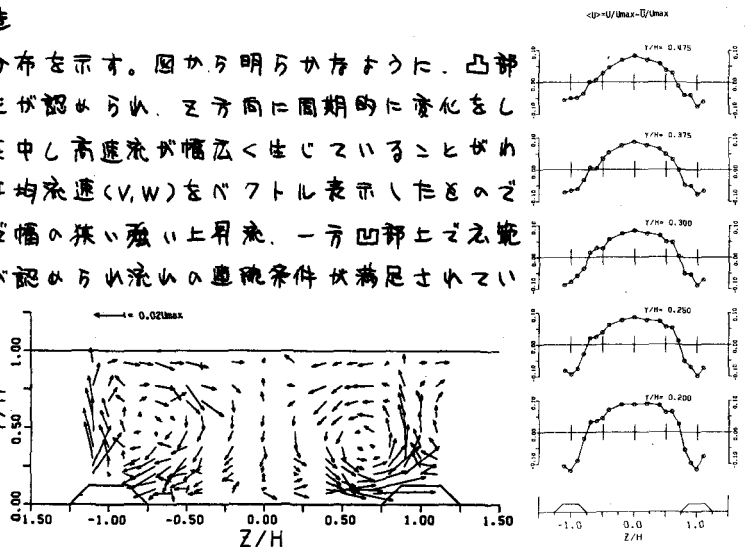


図1 U分布

図2 並列らせん流(V, W)ベクトル図

凸部上で比較的強く、凹部上で弱く運動量交換を行っており、各々の渦対は動的に相互作用を及ぼし合っていると思われる。図2, 4, 5より横断方向の平均流速 W は、 $Y/H = 0$, $Y/H = 0.5$ を境に4象限で正負が異なり渦の回転運動をうまく示している。風洞では自由水面を再現できないが、この空

気流に比べて自由水面付近の W は大きく、開水路流れにおいては W の横断方向の周期特性やその大きさは高さ方向に減衰しないことが明らかにされた。図4において $Y/H = 0.5$ で $W \approx 0$ であることから、この付近に中心を有し水深を直径とする想定した縦渦の存在が示される。図6に明らかにありレイノルズ応力 $(-\overline{uw})$ は Y 方向に直線分布にならず、凸部でみくら凹部でこの逆という

特徴的な分布形を示す。したがって凸部上では高乱流の上昇流、凹部上では低乱流の下降流の存在が予想される。図7, 8は横断方向レイノルズ応力 $(-\overline{uw})$ の Y, Z 方向分布である。両図から明らかであり、 $(-\overline{uw})$ は横断方向に周期的に変化し、その周期特性は自由水面近くまで変化を示さない。すなわち図6 $-\overline{uw}$ 分布

は凹部上では $(-\overline{uw})/\rho g$ はほぼ一定であるが凸部上では急激に変化をし、凸部上の壁面近くで強い運動量交換が行われている。したがって、並列らせん流 $(-\overline{uw})$ の働きによる互方向の乱流や応力の非一様性から生ずる流れと考えられ、壁面近くの水平面内におけるせん断応力の増減がその機動力であると思われる。以上の結果から並列らせん流の運動メカニズムは、壁面近くの横断方向の乱流の不均一性から生じた横断方向の運動量が発達し、凸部に向かい、凸部上で強い $(-\overline{uw})$ の働きによって上方へ輸送されるものと考えられ、横断方向レイノルズ応力 $(-\overline{uw})$ が大きな役割を演ずるものと思われる。本研究では並列らせん流の発生機構については触れなかったが、縦渦と並列らせん流の発生の前後関係や相互作用について今後詳細に検討していきたい。

<参考文献>

- 1) Vanoni, V. A. Transportation of Suspended Sediment by Water, Trans. ASCE (1946)
- 2) 中川, 邦洋: 渦度方程式による並列らせん流の定量的研究, 水工学全集 (1982)

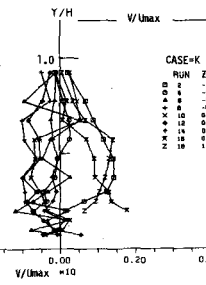


図3 V 分布

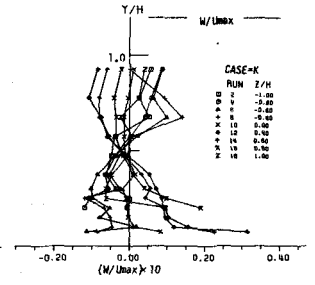


図4 W 分布

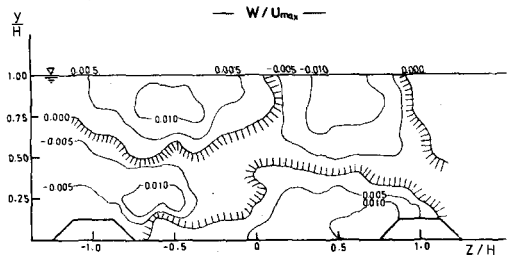


図5 W 等値線図

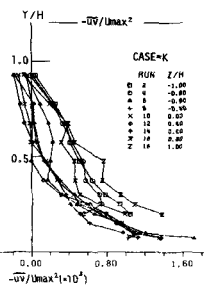


図6 $-\overline{uw}$ 分布

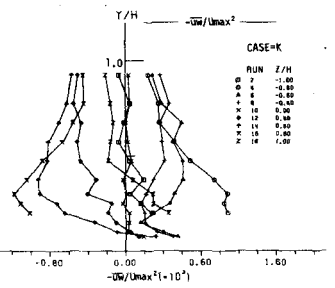


図7 $-\overline{uw}$ 分布

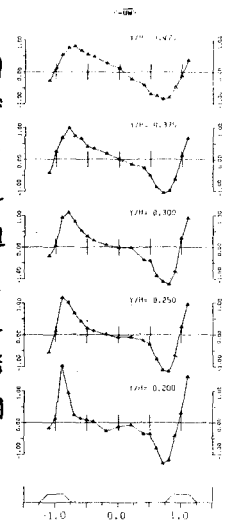


図8 $-\overline{uw}$ 三方分布