

可視化法による並列らせん流の運動機構の考察

京都大学工学部 正員 中川博次
 京都大学工学部 正員 富永晃宏

京都大学工学部 正員 祢津家久
 京都大学大学院 学生員 小教 仁

1. まえがき 直線開水路に存在する並列らせん流は、土砂輸送及び物質拡散などに重要な役割を果たしていると考えられる。実河川において、河床波の卓越しない移動床では砂の峰と谷とが横断方向に交互にできる Sand ribbonあるいは Sand ridge が観察されており¹⁾、中川・祢津らはこれを棧型粗度で模擬した実験を風洞で行ない、凸部で上昇流、凹部で下降流となる並列らせん流が形成されることを示した²⁾。ここでは、開水路流においてこのような棧型粗度を設置し、プロベラ流速計によって並列らせん流の構造を調べ、次にこの棧型粗度を設置しないときの並列らせん流の安定性について砂トレーサーを用いた可視化実験を行なった。

2. プロベラ流速計による実験 実験水路は、全長 8 m、幅 30 cm のアクリル製勾配可変型水路で、図-1 に示すような台形棧型粗度を 8 cm 間隔で設置した。これは平坦河面では安定した並列らせん流が得にくいからである。水深は棧間隔が水深の 2 倍となるように 4 cm と一定とし、レイノルズ数を 4400, 7200, 12000 の 3 通りに変化した。このときの平均流速 U の等流速線図の一例を図-1 に示す。レイノルズ数及びフルード数と並列らせん流の強さとの

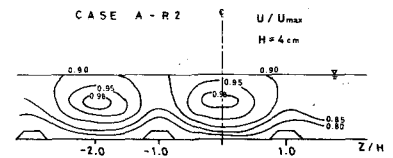


図-1 U/U_{max} の等流速線 ($Re = 7200$)

関係は、 Re , Fr とともに大きいほど並列らせん流の強さも大きくなる傾向を示すが、その差異は顕著ではない。また、図-1 から明らかなように、凸部 (ridge) で低速、凹部で高速となり、等流速線の間隔は凹部で密、凸部で疎となっている。また特に、凹部の中央部分において最大流速の位置が水面下 $y/h = 0.7$ 付近に下降している。この現象は自由水面をもつ開水路流に特有なもので、この部分に下降流が発生していることを示唆している。また、水面流速を電算機用の紙テープのパンチくず (直径約 2 mm) をトレーサーとして

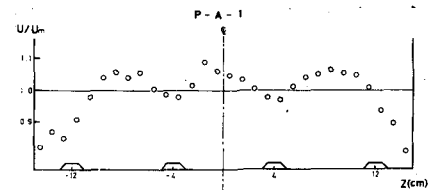


図-2 水面流速分布

16 mm カメラで撮影を行ない、フィルムを解析して求めた。この結果の一例を図-2 に示す。

図-2 より ridge 上で低速になっていることが確認される。平均流速 U は y^+ ($\equiv U_{\tau 2} y / \nu$) が、300 以下では図-3 に示すように対数則分布に良好に従うことから、横断方向各断面での摩擦速度 $U_{\tau 2}$ を評価した。この $U_{\tau 2}$ の横断方向の変動を図-4 に示した。図-4 から、凸部すなわち上昇流部で摩擦速度が小さく、凹部すなわち下降流部で大きくなっている。

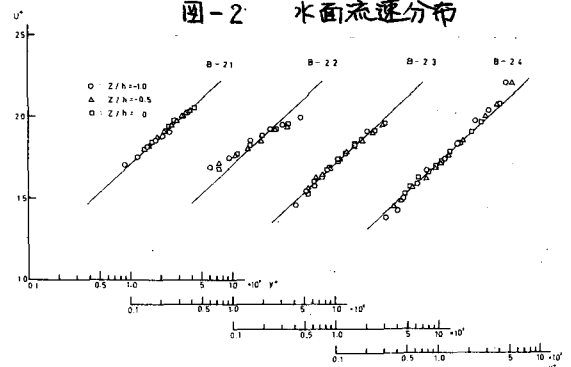


図-3 対数則 (壁法則)

したがって並列らせん流の存在する流れでは、下降流部で掃流力が大きく砂が移動しやすくなり、上昇流部では掃流力が小さく砂が移動しにくくなる。また、図-2及び図-4から、凸部の上昇流は幅のせまい急激なものであり、凹部の下降流は幅の広いおだやかなものであることが示される。次に乱れ強度 U' は上昇流部で大きく、下降流部で小さくなり摩擦速度とは逆の傾向を示した。 U'/U_{*1} の普遍関数表示から得られる乱れの特性速度 U_{*1} の横断方向分布を図-5に示す。これから上昇流部分で乱れの特性速度は大きく、浮遊砂流などではここで濃度が大きくなることが予想される。

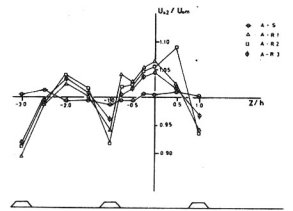


図-4 摩擦速度の横断方向分布

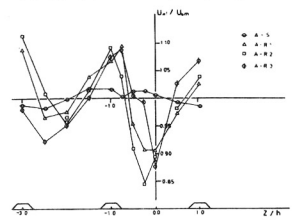


図-5 乱れの特性速度 U_{*1} の横断方向分布

3. 砂トレーサーによる実験

次に模型粗度を取り去り、平均粒径 0.25mm の砂を水路底面にニスで固めて粗面とし、その上に平均粒径 0.3mm の石英の細砂をトレーサーとして青色に着色して薄く一様に 20cm の長さに敷きつめ、その流下する様子を 35mm カメラで撮影し、解析を行なった。まず水深を 2cm とし、フルード数を 0.7 から 1.4 まで 5 通りに変化させた。この結果、フルード数が 1 以上でトレーサーによる縦筋が明瞭に形成されることがわかった。フルード数が 1.4 のときの写真を写真-1 に示す。次にフルード数を 1.4 とし、水深を 1cm, 2cm, 3cm の 3 通りに変化させ、トレーサーによる縦筋の発生する横断方向の位置を読み取った。水深 3cm の場合の縦筋発生位置の頻度分布を図-6 に示す。縦筋の発生位置はかなり固定されており、安定した並列らせん流が形成されていることが示唆される。また、この頻度分布の横断方向の自己相関を調べたものが図-7 である。図-7 から並列らせん流の間隔は水深のほぼ 2 倍であることがわかる。水深 1cm 及び 2cm の場合にも同様の傾向が見られた。なお、このトレーサーによる縦筋は掃流力の大きい下降流部に発生しているものと考えられる。このようにフルード数が 1 以上では安定した並列らせん流が形成させることが示された。



写真-1 トレーサーによる縦筋 (流れは右から左)

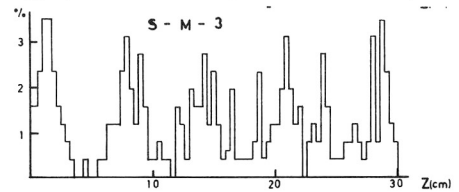


図-6 縦筋発生位置の頻度分布 ($h=3\text{cm}$)

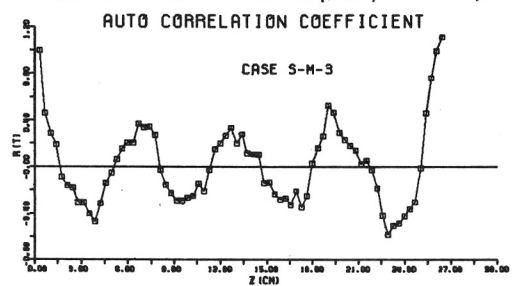


図-7 縦筋発生位置の自己相関 ($h=3\text{cm}$)

<参考文献>

- 1), Karcz, I.: Harrow Marks, Current-Aligned Sedimentary Structures, J. Geology, vol. 75, 1967
- 2), 中川・祿津・富永: 2 次流を伴う流れの乱流構造, 第 26 回水理講演会論文集, 1982