熊本大学大学院	学生員	松葉	譲児
熊本大学工学部	正会員	大本	照憲
熊本大学工学部	正会員	矢北	孝一
熊本大学大学院	学生員	城戸	崇臣

1.はじめに

河川における縦筋河床や大気における筋雲等、せん断乱流は一般に筋状のパターンを示すことが多く、これらに 共通の支配因子として縦渦列の存在が挙げられている。本研究では、河床波の峰が横断方向に水深の2倍の間隔で 主流方向に並列する縦筋河床を模擬した縦桟粗度を有する固定床上において乱れの計測を実施し、縦筋河床状の乱 流特性を明らかにするとともに、二次流のレイノルズ応力および乱れエネルギーの収支に与える影響について検討 を行った。

2.装置および方法

実験装置の概要を図‐1 に示す。実験に用いた水路は、長さ 14m、幅 60cm、高さ 30cm の循環型可変勾配水路 である。縦筋河床を模擬するために縦桟粗度として底辺 7mm,高さ 3.2mm,長さ 1m の二等辺三角柱のアクリル材を 水路全幅に亘って横断方向に水深の約2倍となる10cmの等間隔で水路流入口から長さ12mの間に設置した。座標 系は、水路上流端より 10m 下流位置の水路中央の河床を原点とし、流下方向を x 軸、横断方向を y 軸、鉛直方向 を z 軸に設定した。実験条件を表 - 1 に示す。流速測定には、平均流速として二成分小型流速計を、乱れ成分に二 成分ホットフィルム流速計を使用した。二成分ホットフィルム流速計では、流速の主流方向成分と横断方向成分、 および横断方向成分鉛直方向成分の同時計測が同一点で、小型電磁流速ではさらに横断方向成分と鉛直方向成分の 同時計測が追加された。計測結果は、サンプリング周波数 100Hz で AD 変換した後、一測点 4096 個のデータに関 して統計処理を施した。



3.平均流特性

図 - 2 は、実測された主流速の等値線および二次流ベクトルを示す。図より極大流速の位置は Ridge 間の中央に 当たる y=±5cm 近傍の水面下に没していることが分かる。また、主流速の等値線は Ridge 上では同心円状に近く、 上向きに突出する形状を示し、Ridge 間の中央では下向きに突出する形をとる。二次流は、Ridge 上の狭い領域で 強い上昇流が発生し、その中央では比較的広い領域で下降流を示し、上昇流の存在する Ridge 上で低速領域、下降 流の存在する Ridge 間中央付近で高速領域であることが明瞭であり、二次流の主流速に与える影響の強いことが認 められる。二次流の空間変化をさらに詳細に見るため、図 - 3 および図 - 4 に各々二次流の横断成分 V および鉛直 成分Wの横断方向変化を示す。二次流の横断成分Vは、河床から半水深までの領域ではRidgeに向かい、半水深 から水面までの領域では Ridge から離れる方向に向きを取り、その横断分布は正弦波に近いことが分かる。一方、 二次流の鉛直成分 W の横断分布は、水面付近では正弦波に近い形状を示すが、河床付近では Ridge 近傍で強い上 |昇流を示し特異点となっていることが分かる。また、上昇流の極大値は断面平均流速の約 3%、摩擦速度の 80%で あり、下降流の極大値は断面平均流速の約2%、摩擦速度の25%である。



## 4.乱れ特性

主流方向の乱れ強さ ( $\overline{u'^2}$ )の横断分布を図 - 5 に示す。乱れ強さ ( $\overline{u'^2}$ )は、鉛直方向には全般的には単調に減少し、横断方向には Ridge 付近で大きく、Ridge 間中央で極小値を取り、その極大値は Ridge 位置より若干外れた y= ±1cm 付近に位置することが認められる。主流方向と鉛直方向の流速変動から成るレイノルズ応力(-u'w')の横断分 布を図 - 6 に示す。バラツキは大きいものの、レイノルズ応力(-u'w')は河床付近を除けば、Ridge 付近で極大値、 Ridge 間の中央±5cm で極小値を取ることが認められる。主流方向と横断方向の流速変動から成るレイノルズ応力 (-u'w')の横断分布を図 - 7 に示す。レイノルズ応力(-u'w')は、河床近傍では Ridge 近傍で極値を取り、その大き さは(-u'w')と同程度であることが分かる。また、Ridge 上の y=0 および Ridge 間の中央 y=±5cm では主流速は横 断方向に変化が無いので(-u'w')はゼロに近い。二次流のレイノルズ応力への影響を検討するために、主流方向のレ イノルズ運動量方程式を式(1)に、式(1)をz に関して鉛直方向に積分したものを式(2)に示す。

$$(\mathbf{V} \cdot \partial \mathbf{U} / \partial \mathbf{y} + \mathbf{W} \cdot \partial \mathbf{U} / \partial \mathbf{z}) d\mathbf{z} = \mathbf{g} \cdot \mathbf{i}_{0} + \partial (-\mathbf{u'v'}) / \partial \mathbf{y} + \partial (-\mathbf{u'w'}) / \partial \mathbf{z} + \mathbf{v} (\partial^{2}\mathbf{U} / \partial \mathbf{y}^{2} + \partial^{2}\mathbf{U} / \partial \mathbf{z}^{2})$$
(1)  
$$-\overline{\mathbf{u'w'}} = \mathbf{g} \cdot \mathbf{i}_{0} (\mathbf{H} - \mathbf{z}) - \int_{\mathbf{z}}^{\mathbf{H}} (\mathbf{V} \cdot \partial \mathbf{U} / \partial \mathbf{y} + \mathbf{W} \cdot \partial \mathbf{U} / \partial \mathbf{z}) d\mathbf{z} + \int_{\mathbf{z}}^{\mathbf{H}} \partial (-\overline{\mathbf{u'v'}}) / \partial \mathbf{y} d\mathbf{z} + \int_{\mathbf{z}}^{\mathbf{H}} \mathbf{v} (\partial^{2}\mathbf{U} / \partial \mathbf{y}^{2} + \partial^{2}\mathbf{U} / \partial \mathbf{z}^{2}) d\mathbf{z}$$
(2)

ここに、g:重力加速度、:動粘性係数である。Ridge 上 y=0cm および Ridge 間の中央 y=±5cm におけるレイノルズ応力(-u'w)への二次流の影響に着目すれば、右辺第二項における V・ $\partial U/\partial y = 0$  となる。図 - 3および図 - 7より Ridge 上においては W· $\partial U/\partial z \ge 0$ , (-u'v')/ y 0 となり、Ridge 間の中央 y=±5cm では W· $\partial U/\partial z$  0, (-u'v')/ y 0 となることから、上昇流は(-u'w)を減少させ、下降流は(-u'w')を増大させる働きのあること、および横断方向の運動量輸送(-u'w')は、Ridge 上では(-u'w')を増大させ、Ridge 間の中央 y=±5cm では(-u'w')を減少 させることが分かる。二次元開水路流れでは無視される乱れエネルギーの発生項 $\partial(-u'v'\partial U/\partial y)$  を図 - 8 に示す。主流速 U の横断分布は実測値に対して 6 次の多項式近似式を適用した。 $\partial(-u'v'\partial U/\partial y)$  は、その極大値が y=±2cm 付近に現れ、Ridge 上 y=0 および Ridge 間の中央 y=±5cm で極小値を取ることから、(u'2)の極大値の位置と対応し、乱れエネルギーの発生項として無視できないことが認められた。

