

水生植物の流れへの影響について

熊本大学大学院 学生員 ○福井洋幸
 熊本大学工学部 正 員 大本照憲
 熊本大学工学部 学生員 花原英徳

1. はじめに

近年、河川環境の重要性が認識されるようになり、植生を伴う流れについて数多くの研究がなされるようになってきている。それらのうち河道内に植生帯を有する流れにおいて、植生帯境界面で剪断不安定に起因する大規模渦が発生することが示されている。この間欠的な渦は乱れの維持や運動量・物質の拡散に多大な影響を与えることが指摘されている。しかし植生帯周辺における二次流特性については不明な点が多い。本研究は、河道中央に存在する水生植物によって生じる流れ場の3次元的構造を捉えるべく、実験により検討したものである。

2. 実験装置および方法

実験は長さ10m、幅40cm、高さ20cmの亚克力樹脂からなる循環式可変勾配水路を使用して行った。植生帯の模型には5cm×300cm×0.3cmのプラスチック板に5mm四方で模擬植生を張り付けたものを使用し、水路中央に設置した。模擬植生にはナイロン糸を用い、その特性値は平均的な高さ約5.5cm、直径0.242mm、曲げ剛性 $EI=1.45 \times 10^4 \text{ gr/cm}^2$ であり、水流の変化に追従してたわむ柔軟性を有している。座標系は、植生帯上流端の中央に原点をとり、主流方向にx軸、横断方向にy軸、鉛直上方にz軸を取る。流速の測定には二成分電磁流速計を用いた。出力信号は、サンプリング周波数50HzでA/D変換した後、1測点2048個のデータに関して統計処理された。また表-1に示すように、植生帯上に流れが在る場合 (Run1) と無い場合 (Run2) の2ケースについて測定を行った。

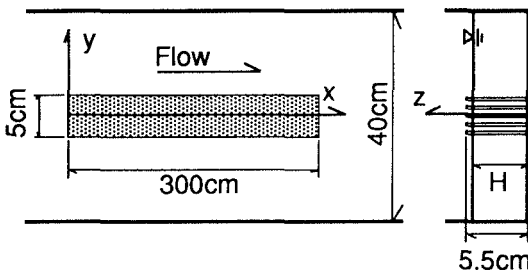


図-1 実験水路の概要

表-1 実験条件

		Run1	Run2
流量	$Q(\text{l/sec})$	6.23	9.93
水深	$H(\text{cm})$	5.4	8.6
水路勾配	I_0	1/1000	1/1000
平均流速	$U_m(\text{cm/sec})$	27.84	28.85
植生高さ	$l(\text{cm})$	5.5	5.5
植生直径	$d(\text{mm})$	0.24	0.24

3. 実験結果

3. 1. 平均流特性

図-2および図-3はそれぞれ植生帯上に流れが無い場合および在る場合における主流速の等値線および二次流ベクトルを示す。なお、図中の黒くハッチングが施されている部分は植生帯である。図-2の $x=30\text{cm}$ 地点の主流速の等値線を見ると、周辺部に比べ植生帯内で主流速が急激に減衰している。また $y=2\sim 5\text{cm}$ と $y=-2\sim -5\text{cm}$ の範囲で水面付近と比べ底面付近の主流速が若干大きくなり、等値線が傾斜している。二次流ベクトルを見ると、植生帯境界面上昇流、 $y=\pm 5\text{cm}$ で下降流という二次流が現れている。この下降流はそのまま非植生域へ向かう流れと、再び植生域へ向かいローラー状の流れを形成するものとわかれている。この後者の流れにより周辺の高速流体が底面付近より潜り込み、前述の水面付近と比べ底面付近の主流速の方が大きくなるという現象が生じていると考えられる。これが $x=200\text{cm}$ 地点になると植生帯内と周辺部との流速差が減衰し、主流速の横断方向変化が緩やかになっている。さらに高速流体の潜り込みが、植生帯より離れた $y=4\sim 10\text{cm}$ と $y=-4\sim -10\text{cm}$ と広範囲で生じている。同地点には底面付近に非植生域から植生域へ向かう二次流が生じている。この二次流は植生帯内に流入後、上昇流となり、水面付近より非植生域へ向け緩やかに流出している。 $x=30\text{cm}$ 地点の植生帯境界面付近と同じく、これらローラー状の二次流により、植生周辺の主流速分布は特徴付けられていると考えられる。植生帯上に流れが在る図-3の場合、 $x=30\text{cm}$ 地点では図-2とほぼ同様の傾向を示している。 $x=200\text{cm}$ 地点では、非植生域から植生域へ向かう二次流の現れる領域が図-2と比べて広がり、二次流成分の絶対値も大きくなり強い流入傾向を示している。

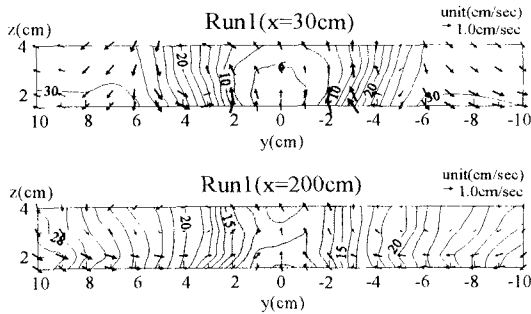


図-2 主流速の等値線および二次流ベクトル
(植生帯上に流れが無い場合)

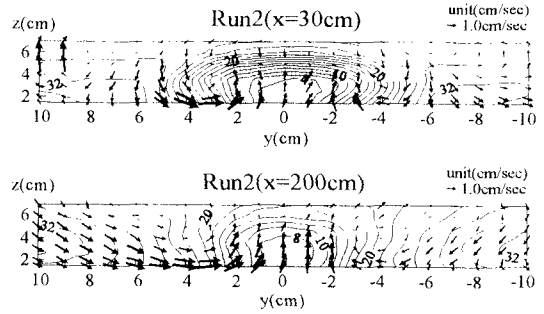


図-3 主流速の等値線および二次流ベクトル
(植生帯上に流れが在る場合)

3. 2. 乱れ特性

図-4 から 6 はそれぞれ乱れエネルギー $k = (\overline{u^2} + \overline{v^2} + \overline{w^2})/2$ 、レイノルズ応力 $-\overline{u'v'}$ および $-\overline{u'w'}$ の横断方向の変化を示す。なお、図中の点線の内側が植生帯である。図-4 の植生帯上に流れが無い Run1 の場合には、乱れエネルギーは植生帯境界面で極大値、植生帯中央部で極小値を示す。植生帯上に流れが在る Run2 の場合でも同様であるが、植生帯上では乱れエネルギーは均一化している。また Run1 および Run2 ともに非植生域の植生帯境界面付近では、水面付近に比べて底面付近の方が乱れエネルギーが小さい値を示している。植生帯上に流れが無い Run1 の場合におけるレイノルズ応力 $-\overline{u'v'}$ の絶対値とレイノルズ応力 $-\overline{u'w'}$ は、植生帯境界面で極大値、植生帯中央部で極小値を示しており、これは乱れエネルギーの分布傾向に一致する。植生帯上に流れが在る Run2 の場合においても同じく一致する。 $-\overline{u'v'}$ および $-\overline{u'w'}$ の絶対値の大きさを比較すると $-\overline{u'v'}$ の方が大きいので、乱れエネルギーの生成には $-\overline{u'v'}$ の寄与が大きいと言える。また Run2 の植生帯上においては、レイノルズ応力 $-\overline{u'w'}$ が植生帯中央部で極大値を取っており、さらに非植生域の $y = \pm 5$ cm 地点で $-\overline{u'w'}$ は負の値を示している。非植生域の底面付近で乱れエネルギーが小さくなるのは、同地点でのレイノルズ応力の値が小さいのに加えて、二次流による乱れエネルギーの移流効果が考えられる。さらに、レイノルズ応力 $-\overline{u'w'}$ が非植生域において負の値を取るのは、二次流により高速流体塊の潜り込みが生じ、主流方向の運動量が輸送されたためである。

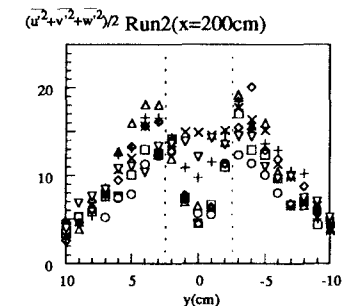
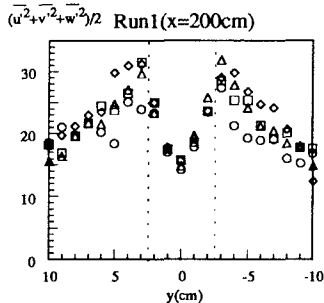


図-4 乱れエネルギーの横断分布

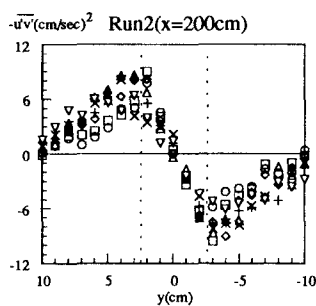
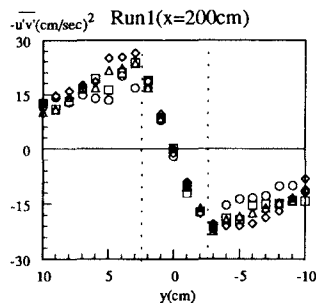


図-5 レイノルズ応力 $-\overline{u'v'}$ の横断分布

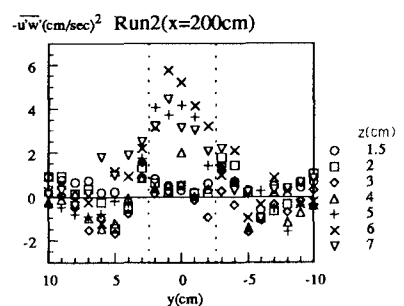
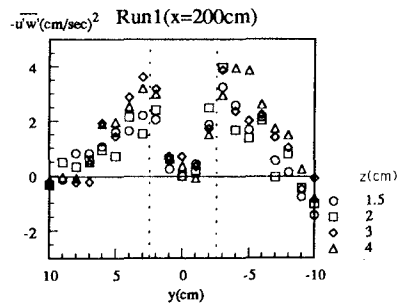


図-6 レイノルズ応力 $-\overline{u'w'}$ の横断分布