

水生植物帯周辺の三次元乱流構造

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

1. はじめに

植生帯を伴う河川乱流においては、植生帯周辺における二次流構造については不明な点があり、植生帯の平衡領域では平面二次元流れとして扱う場合が多い。前報¹⁾では、河道中央に存在する水生植物によって生じる流れ場の三次元的構造を明かにするため、電磁流速計を用い、実験による検討を行った。そこで本研究では、ホットフィルム流速計を用い、より高精度の計測を行うことにより同様の検討を行った。

2. 実験装置および方法

実験は図-1に示す長さ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用いて行った。植生帯の模型には5cm×300cm×0.3cmのプラスチック板に5mm間隔で模擬植生を張り付け、水路中央に設置した。模擬植生にはナイロン糸を用い、その特性値は高さ5.5cm、直径0.242mm、曲げ剛性 $EI=1.45\times10^4\text{gr/cm}^2$ であり、流れに対して柔軟に変形する。流速の測定にはホットフィルム流速計を用いた。出力信号は、サンプリング周波数100HzでAD変換した後、1測点4098個のデータに関して統計処理が施された。計測は、表-1に示すように、植生帯上に越流が有る場合と無い場合の計2種類の条件で行った。なお座標系は、植生帯の上流端の中央に原点をとり、流下方向にx軸、横断方向にy軸、鉛直上方にz軸を取る。

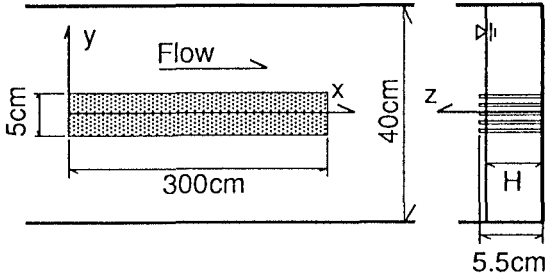


図-1 実験水路の概要

表-1 実験条件

		Run1	Run2
流量	Q(l/sec)	6.50	10.12
水深	H(cm)	5.5	8.5
平均流速	$U^m(\text{cm/sec})$	29.54	29.95
水路勾配	I_0	1/1000	1/1000

3. 実験結果

3. 1. 平均流特性

植生帯上に越流が無いRun1と越流が有るRun2における主流速の等値線及び二次流ベクトルをそれぞれ図-2および図-3に示す。図-2の非平衡領域と見なされる $x=30\text{cm}$ 地点における主流速の等値線から、植生帯境界付近の $3\text{cm}\leq y\leq 5\text{cm}$ の領域では周辺部に比べて主流速が急激に減衰している。また水面付近に比べて底面付近の主流速が若干大きくなり、主流速は鉛直方向に一樣でないことがわかる。二次流ベクトルを見れば、植生帯境界付近の $y=3\text{cm}$ で上昇流、水面付近で非植生域から植生域へ向かう二次流が生じており、流出現象が底面付近と比べ水面付近で卓越している。そのために水面付近に比べて底面付近の方で主流速が大きくなる現象が生じていると考えられる。主流速が流下方向に変化しない平衡領域の $x=200\text{cm}$ 地点では植生帯境界付近と周辺部との流速差が緩和し、主流速の横断方向変化が小さくなっている。さらに水面付近に比べて底面付近の主流速が若干大きい領域が、植生帯より離れた $5\text{cm}\leq y\leq 10\text{cm}$ に認められる。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境界付近で上昇流となり、水面付近から非植生域へ向け流出し、周辺部にローラー状の流れを形成している。次に、図-3からRun2の植生帯上に越流が有る非平衡領域の $x=30\text{cm}$ 地点では、植生高さ以下の植生境界付近において主流速はRun1の $x=30\text{cm}$ 地点と類似の傾向を示している。また二次流ベクトルを見ると、底面付近に非植生域から植生域へ向かう強い二次流が生じており、 $x=30\text{cm}$ 地点で認められた植生帯境界付近の上昇流、水面付近の非植生域から植生域へ向かう二次流が強まった形で現れている。一方、植生帯上層の越流領域において主流速は植生帯の粗度効果によって $0\text{cm}\leq y\leq 4\text{cm}$ の範囲で減衰しているが、 $4\text{cm}\leq y\leq 10\text{cm}$ の範囲で横断方向にほぼ一樣化しており、二次流は植生帯から離れる方向に向きを取っている。平衡領域の $x=200\text{cm}$ 地点になると、主流速は $x=30\text{cm}$ 地点に比べ植生帯高さ付近で鉛直方向の急激な変化が緩和されている。またRun1のローラー状の二次流が強まった形で現れ、底面付近での植生帯内への強い流入および植生帯上方への流出傾向を示している。この二次流パターンから明らかに非植生域からの高速流体の潜り込みにより、植生帯周辺の底面付近で主流速が大きくなっている。

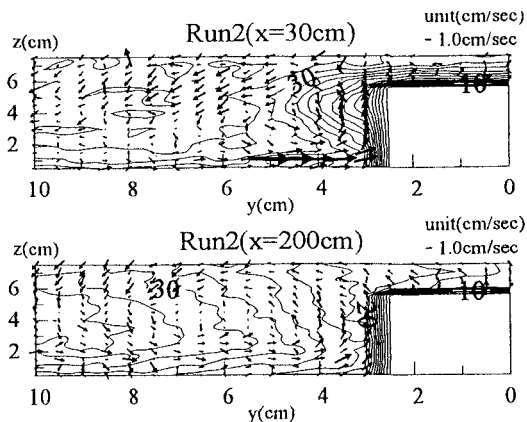
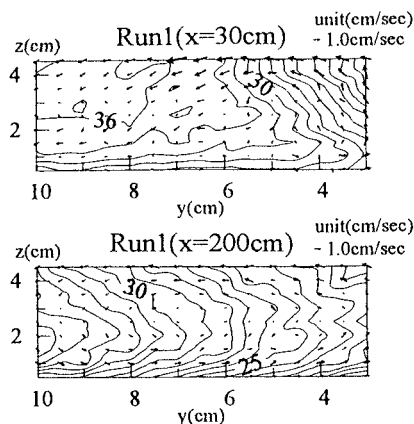


図-2 主流速の等値線及び二次流ベクトル（越流無し） 図-3 主流速の等値線及び二次流ベクトル（越流有り）

3. 2. 乱れ特性

図-4 は平衡領域の $x=200\text{cm}$ における乱れエネルギーの横断分布を示したものである。植生帯上の越流の有無に関わらず、乱れエネルギーは植生帯高さ以下では $3\text{cm} \leq y \leq 4\text{cm}$ の植生帯付近で極大値を示している。植生帯上に越流が無い Run1 においては、植生帯上に越流が有る Run2 と比べて乱れエネルギーの横断方向変化は小さく、絶対値は全体的に Run2 と比べて大きな値を示す。また植生帯境界面付近では、底面付近の $z=0.5\text{cm}$ で周辺部と比べ小さい値を示している。植生帯上に越流が有る Run2 においては、植生帯上層で乱れエネルギーは均一化している。また、乱れエネルギーは全般的に平衡領域の $x=200\text{cm}$ では同一の河床高さにおいて植生帯上に流れの無い Run1 の方で大きいことが分かる。図-5 および図-6 はそれぞれ、平衡領域の $x=200\text{cm}$ におけるレイノルズ応力 $-\overline{u'v'}$ および $-\overline{u'w'}$ の横断分布を示す。Run1 において、底面付近の $0.5\text{cm} \leq z \leq 1.5\text{cm}$ で $-\overline{u'v'}$ は植生帯付近で極大値を示しているが、 $2\text{cm} \leq y \leq 4.5\text{cm}$ では横断方向に均一化しており、その絶対値は底面付近と比べ大きくなっている。これに対して Run2 では、Run1 と比べて鉛直方向変化は小さく、全般的に植生帯付近で極大値を示す傾向にある。レイノルズ応力 $-\overline{u'v'}$ の絶対値は、Run1 の方で大きいことから、乱れエネルギーの大小関係と一致している。図-6 においては、植生帯上の越流の有無に関わらず、 $0.5\text{cm} \leq z \leq 1.5\text{cm}$ では $-\overline{u'w'}$ は植生帯境界面で極大値を示し、その絶対値は Run1、Run2 ともに同程度の値を示している。また植生帯上層ではその直上の $z=6\text{cm}$ 付近で大きいことが分かる。植生帯上の越流の有無に関わらず、レイノルズ応力の大きさは $-\overline{u'w'}$ に比べて $-\overline{u'v'}$ の方で大きくなることから、乱れエネルギーの生成には $-\overline{u'v'}$ の寄与が大きい。

参考文献

- 1) 堀井洋幸，大本照憲：水生植物の流れへの影響について，土木学会第52回年次講演会第Ⅱ部，1997

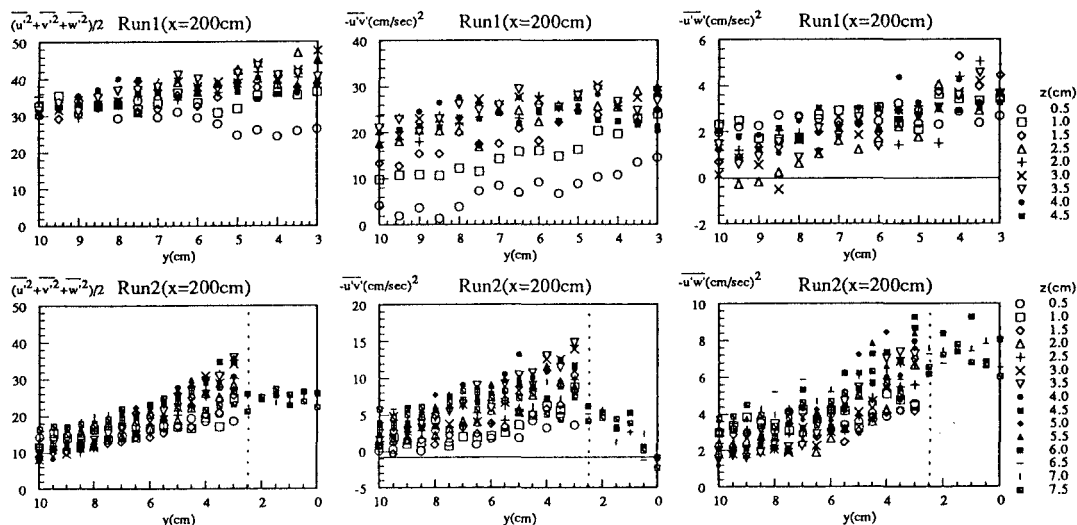


図-4 乱れエネルギーの横断分布 図-5 レイノルズ応力 $-\overline{u'v'}$ の横断 図-6 レイノルズ応力 $-\overline{u'w'}$ の横断