

II - 360

植生帯によって引き起こされる浅い水平せん断乱流の基本特性の検討

東京工業大学 正会員 八木 宏
長野県 小林康夫

1. はじめに

自然水域における大規模な水平せん断流場では、レイノルズ数が非常に大きい流れであるにも関わらず低レイノルズ数領域で見られるような明確な組織渦構造が発生することがしばしば報告されている。これは、これらの流れの特徴が現象の水平スケールに比べて鉛直スケールが非常に小さい、いわゆる「浅い」流れであることが主な原因と考えられる。浅い流れ場においては、①鉛直運動の拘束、②底面摩擦力、③底面からの乱れの生産など様々な効果が考えられるが、それらが水平せん断流に与える影響は明らかではない。そこで本研究では、水平せん断流として開水路内の植生帯が引き起こす水平せん断流に着目し、流れの鉛直スケール（水深）と底面粗度が水平乱流特性に与える影響を室内実験を通して明らかにすることを目的とした。

2. 実験概要

実験は、幅40cm・長さ14mの変可勾配型水路に、長さ12m・幅10cmの植生模型（透水性材）を水路片側に配置し等流状態の水平せん断流を発生させて行った。ここでは、流れの鉛直スケール（水深）と底面粗度の違いが水平せん断流に与える影響を把握することを目的としているため、水深及び粗度を変化させた合計3ケースについて実験を行った。実験条件を表-1に、座標系を図-1に示す。実験では、水平せん断流の構造を把握するために、流れがほぼ平衡に達した地点（植生模型上流端から7.5m）における横断面内の各測点の流速（水平流速2成分）をレーザードップラー流速計を用いてサンプリング周波数50Hzで約330s間計測した。

3. 実験結果とその考察

(1) 水深の効果について

はじめに、底面粗度の状態を同じとして水深を4cm、20cmと変化させた場合（S-4、S-20）についての比較を示す。図-2は、水深の半分に相当する高さにおける植生境界近傍の点（ $y=2\text{cm}$ ）での流下方向流速変動 u' のスペクトル及び u' と v' のクロススペクトル（水平レイノルズ応力の周波数別の貢献度）を示している。これを見ると、水深が小さいS-4では変動流速のスペクトルに明確なピークが存在し、そのピークに対応した周波数成分がクロススペクトルにおいても卓越している。これに対して水深が大きいS-20では u' のスペクトルのピークが明確でなく、クロススペクトルも広い周波数帯に分布している。さらに、こうした流速変動の特徴を4象限頻度分布（図-3）で見ると、S-4では流速変動が比較的密集した分布を示すのに対してS-20は相対的に分散した分布となっている。既往の研究により、植生帯によって引き起こされる水平せん断流では、変曲点不安定によって生じた水平大規模渦が水平混合に大きく寄与していることが明らかとなっているが、以上の結果は水深の大きさによって発生する水平大規模渦の挙動がかなり異なっている事を示している。さらに、図-4は流速をバンドパスフィルターによって4つの周波数帯に分けそれぞれの周波数帯の変動流速による瞬間運動量フラックス $-u'v'$ の経時変化を示したものである。S-4では0.1-0.5Hzの成分（水平渦の卓越周期帯）が他の3成分より常に卓越しているのに対し、S-20では時間によって卓越する周波数帯が入れ替わっている。つまり、水深が小さい場合には同じようなサイズの水平渦が比較的安定した渦列を形成しそれがレイノルズ応力を維持しているのに対し、水深が大きくなると水平渦がダイナミックにその大きさや強さ

キーワード：浅い流れ、水平せん断流、鉛直スケール、底面粗度、水平大規模渦

〒152 東京都目黒区大岡山 2-12-1

Tel. 03-5734-2591 E-mail hyagi@cv.titech.ac.jp

を変化させ、間欠的に大きなレイノルズ応力を発生している。

（２）底面粗度の効果について

次に、水深が同じで底面粗度が異なる場合（S-4, R-4）を比較する。図-1に示した変動流速スペクトル及びクロススペクトルを見ると、底面粗度が小さいS-4に現れた明確なピークが底面粗度が大きいR-4には見られない。さらに、流速変動を図-4と同じく4つの周波数帯に分け、それぞれの周波数帯が受け持つレイノルズ応力の大きさを比較すると（図-5）、底面粗度が小さいS-4では水平渦成分の周波数帯が主にレイノルズ応力を受け持っているのに対し、底面粗度が大きいR-4では水平渦の周波数帯より高周波の成分がレイノルズ応力を支配していることがわかる。以上の結果は、鉛直スケールが小さい浅い流れであっても、1）底面粗度が大きい場合には明確な水平大規模渦が発達しにくいこと、2）水平方向のせん断力については底面粗度が小さい場合には水平渦が支配的であるのに対し、底面粗度が大きい場合には底面から発生する乱れなど水深スケールの高周波乱れによる混合効果が重要であることを示している。

4. 結 論

水平せん断流は、流れの鉛直スケール（水深）を小さくすることによって渦構造が明確化され、比較的安定な水平渦列によって水平せん断力を維持する状態になるが、水深が浅くても底面粗度が大きい場合には、水平渦が減衰し水深スケールの高周波乱れが水平せん断力を維持するようになる。

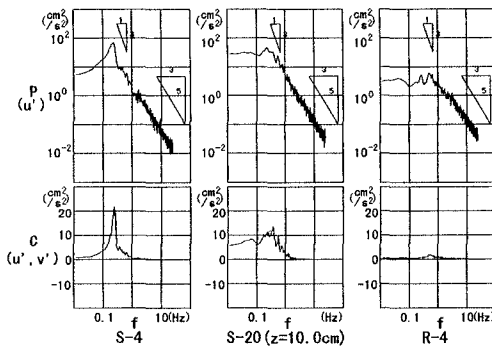


図-2 主流速変動 u' のスペクトル及び u' と v' のクロススペクトル ($y=2.0\text{cm}$, $z=2.0\text{cm}$)

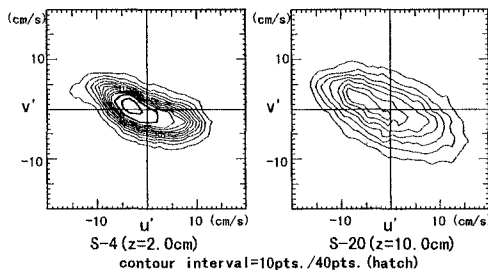


図-3 四象限頻度分布 ($y=2.0\text{cm}$)

表-1 実験条件 (*: MKSによる値)

	S-4	S-20	R-4
水深 (cm)	4.0	20.0	4.0
粗度係数*	0.012	0.012	0.028
底面摩擦係数	0.0046	0.0035	0.022
断面平均流速	23.6 (cm/s)		

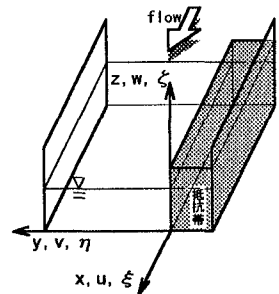


図-1 座標系の定義

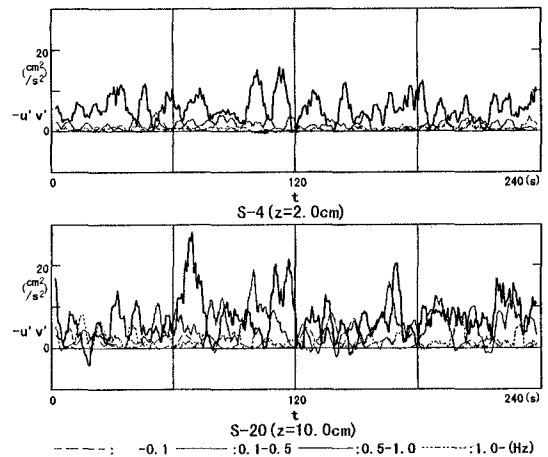


図-4 周波数帯別の $-u'v'$ の変動 ($y=2.0\text{cm}$)

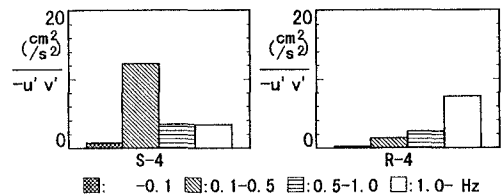


図-5 周波数帯別のレイノルズ応力 $-u'v'$ ($y=2.0\text{cm}$, $z=2.0\text{cm}$)