

II-102 側壁効果の強い流れにおける渦度とレイノルズ応力分布特性に関する検討

日本大学工学部 正員 ○長林久夫
日本大学工学部 正員 木村喜代治

1. はじめに

水路幅水深比 (b/h) が小さな開水路における二次流構造と最大流速発生位置低下の機構を検討する目的で、トレーサ法とスリット光源による複数断面の同時可視化⁽¹⁾を行った。実験は幅10cm、水深20cm、 $b/h=0.5$ の長方形開水路で行い、最大流速位置より上方の流れは主に側壁と自由水面効果によって規定された構造となっている。

2. 最大流速位置とレイノルズ応力分布

開水路におけるレイノルズ応力 ($-\overline{u'v'}$) 分布は底面近傍で最大となり、自由水面でゼロとなる直線分布で示される。最大流速位置が自由水面より降下するにつれて、レイノルズ応力のゼロとなる地点も降下し、それより上方では底面側と反対符号を有する領域の存在が認められている。図-1に本実験で得られた主流流速 u 分布とレイノルズ応力分布を示す。最大流速発生位置は各測線ともにほぼ $0.8h$ であるが、レイノルズ応力のゼロ地点は側壁近傍の測線で $0.7h$ 、水路中央部に近い $z=3.5$ cm 断面ではほぼ $0.8h$ となる。またこの最大流速位置付近のレイノルズ応力ゼロを境に強度の正負が反転しており、上方に向かい直線的に増加傾向を示す。また自由水面近傍でゼロに漸近する傾向となる。最大流速位置付近でのレイノルズ応力の符号反転は自由水面側の渦構造と強い関連を持つことが示唆される。

3. 渦度分布特性

レイノルズ応力の正負の反転とその近傍における分布の直線性を渦度の特性から検討するために渦度の平均径およびピーク値の平均強度分布を求めたものを図-2に示す。この座標系では正の渦度は時計回り、負は半時計回りの回転を示す。 $z=1.5, 2.5$ cmの底面側の渦度の平均径はほぼ正負同程度であるが強度は負に対して1.5倍ほど正の渦度が大きい。また $Z=3.5$ cm では平均径、強度とも正の渦度が卓越する。自由水面近傍では負の渦度強度が卓越し、負の平均径も $0.7h$ 付近より増加傾向を示し、正の渦度に比較して負の渦度が卓越してくる。その自由水面側の負の平均強度は底

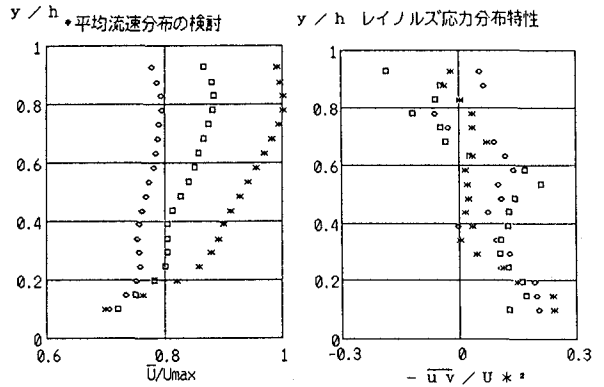


図-1 主流平均流速、レイノルズ応力分布特性

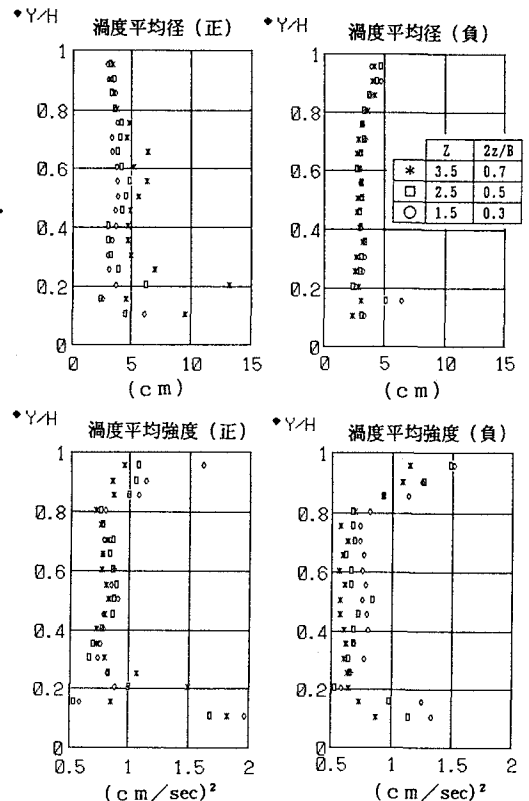


図-2 水路横断方向に軸を有する渦度の特性

面側の負の渦度と同程度となる。最大流速位置下方では平均径、強度とも正の渦度が増加傾向を示している。また0.6hで正の渦度が増加する。図-3は $z=3.5\text{ cm}$ 測線の最大流速位置上方と下方での渦度の径、強度の頻度分布を示す。最大流速位置上方では負の渦度が、下方では正の渦度の分布が卓越することより、自由水面側の渦度に対応した反回転方向の渦度が発生することを示し、その境界は最大流速位置と一致する。

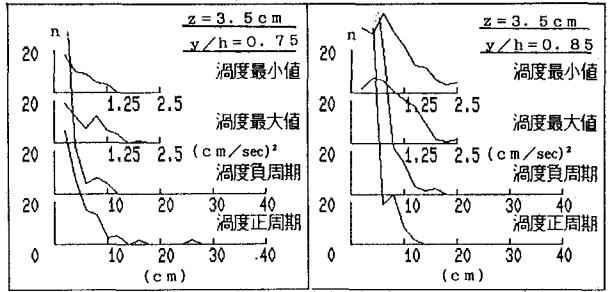


図-3 渦度径、ピーク強度のヒスト分布

4. レイノルズ応力の4象限分割

$x-y$ 二次元平面のレイノルズ応力の分布特性を4象限分割により検討する。図-4に $-\overline{u'v'}$ の敷居値を0.1, 0.2, 0.3 (cm/sec)²とした場合の存在確率(非HOLE事象)の分布を示す。各敷居値とも $y/h > 0.2$ で $z=3.5\text{ cm}$ 測線の割合が他の測線に比べて減少してくる。敷居値0.1は全変動量の8割程度となり、水深方向への変化は3.5cm断面を除き全水深に渡り一様の分布形となる。また敷居値0.2, 0.3では水深方向に僅かながら変動が見られ、底面、自由水面近傍の強度は同程度である。図-5に敷居値0.3の4象限分割した各事象の分布を示す。底面近傍ではejections, sweepsの事象が卓越し、0.4hで全事象が同程度の割合となる。また水面側の $z=2.5\text{ cm}$, 3.5 cm 断面では $u' < 0, v' < 0$ の低速流体が下降するinwards interactionや $u' > 0, v' < 0$ の高速流体が上昇するoutwards interactionが顕著となり、底面側と傾向が逆転し底面側のejectionsやsweepsと同程度の発生率となり、水面側の渦構造による効果を見ることができる。

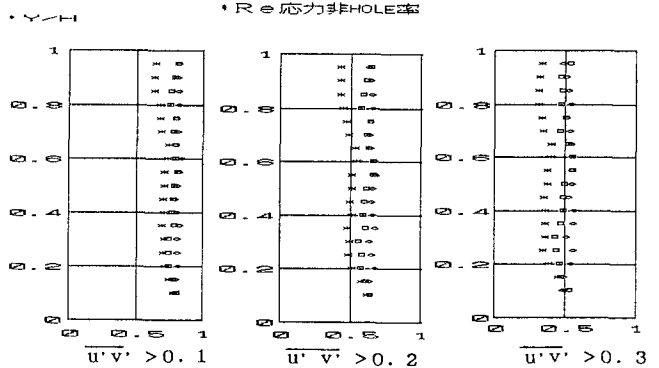


図-4 レイノルズ応力4象限分割非HOLE事象分布

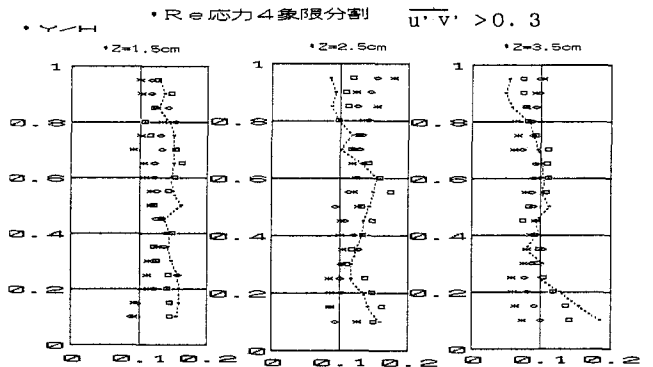
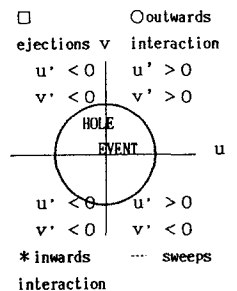


図-5 レイノルズ応力4象限分割



5. おわりに

底面領域と0.6hでの正レイノルズ応力($-\overline{u'v'}$)の増加は時計回転の渦度によるもので、底面では主流流速の強いせん断によって、0.6y/hは二次流による低速流体の混合過程による。自由水面では渦度、レイノルズ応力ともに底面構造に比し反転した構造となり、その効果は $z=2.5\text{ cm}$ 測線程度まで強く影響する。

〔参考文献〕長林, 木村, 他: 水工学論文集, 第36巻pp.145~150, 1992年2月