

低水路河岸沿い樹木群後流部における運動量輸送と乱れエネルギー収支

広島大学大学院 ○学生会員 坂本 博紀
 広島大学工学部 正会員 渡邊 明英

広島大学工学部 フェロー会員 福岡 捷二
 広島大学大学院 学生会員 高次 渉

1. 序論

複断面河道の低水路沿いに樹木群が繁茂する場合、樹木群内外の流速差のために大規模平面渦が発生し、混合により樹木群周りの流れは減速される。本研究では上記のような特徴を持つ低水路河岸沿いに樹木群がある流れ場から、樹木群がない流れ場へと遷移する場合の遷移域の混合機構と乱れエネルギー収支が平衡に至る過程を明らかにする。

2. 実験方法

実験に用いた水路の横断面図を図-1、平面図を図-2に示す。樹木群がある流れ場から樹木群がない流れ場へ遷移する場合を想定し、樹木群模型を上流端から 12.2m まで設置した。縦断水位の変化から流れ場の遷移領域を特定し、その領域でレーザー流速計を用いて平均流速分布、Reynolds 応力分布を調べ、遷移領域における混合機構、乱れエネルギーの収支を調べる。

3. 結果と考察

3-1. Reynolds 応力の縦断変化

流れ場の遷移過程を Reynolds 応力分布の縦断変化から調べる。低水路内を高水敷高さ(水路床から 5.7cm)を境に上層と下層に分割し、それぞれの層で鉛直平均した Reynolds 応力 $-u'v'$ の縦断変化と水面付近及び

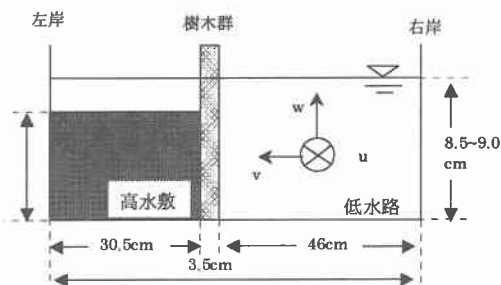


図-1 水路断面図

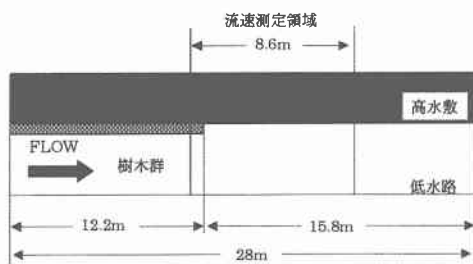


図-2 水路平面図

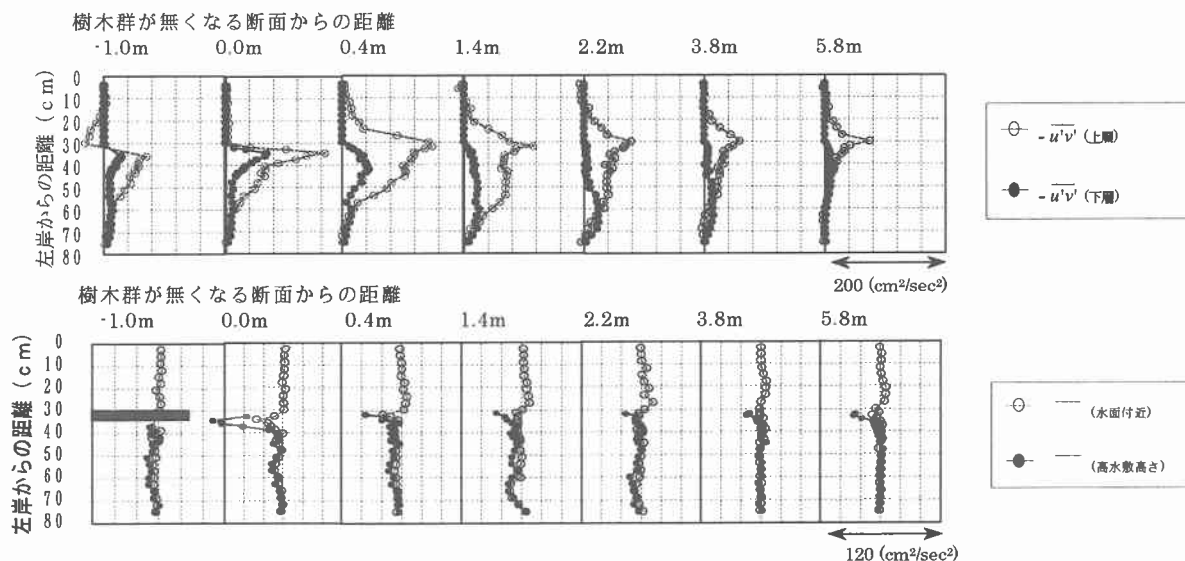


図-3 Reynolds 応力 ($-u'v'$, $-u'w'$) の縦断変化

高水敷高さでの $-\overline{u'w'}$ を図-3 に示す。全領域において、 $-\overline{u'v'}$ は $-\overline{u'w'}$ よりも十分大きいことから横断方向の混合が卓越している。樹木群がなくなる断面では低水路と高水敷の境界付近(以後、境界部)で非常に大きい $-\overline{u'v'}$ 、 $-\overline{u'w'}$ が発生している。これは樹木群がなくなることによって低水路流れと高水敷流れの境界に大きな流速差が生じ、急激な流れの混合が起こるためである。 $-\overline{u'v'}$ は上層、下層ともに流下方向に減衰しながら横断方向には低水路右岸付近まで広がり、やがて境界部にのみ分布を持つ平衡状態にする。全領域において上層境界付近で $-\overline{u'v'}$ が大きい。これは高水敷流れと低水路流れの混合が主に上層で起こっていることを表す。また、 $-\overline{u'w'}$ は境界付近の高水敷高さで大きな負値を示している。この境界部で高水敷から流れ込む遅い流れが下層の流体を減速させているためである。逆に境界部高水敷側の水面付近では $-\overline{u'w'}$ が正値をとる。このことから、低水路流れとの混合の激しい上層の流れによって高水敷下層の流れが加速されていることが分かる。流れが平衡状態に達すると水面付近での鉛直混合はほとんど行われず、 $-\overline{u'w'}$ は境界部の高水敷高さでのみ発生する。

3-2. 乱れエネルギーの輸送方程式とその収支

(式-2)を用い乱れエネルギー輸送の収支を計算した。生産率は Reynolds 応力と平均流の速度勾配の積で定義されており、前節で考察した運動量交換の分布が流れ場の乱れエネルギー生産に反映される。右辺第1項から第3項までは実験値から計算し、粘性拡散率は影響が小さいと考えられるため無視した。圧力変動による拡散率は圧力変動の測定が行えなかったため検討できなかった。そこで消散率と変動圧力拡散率の和を残る3項から(式-2)の関係をj用いて逆算した。

(式-2)の各項を断面積分した結果の縦断変化を図-4 に示す。まず全領域において乱流拡散の影響は小さい。乱れエネルギーの生産率は樹木群がなくなる断面において急増し、流下に従い減少する。最終的には樹木群がある流れ場の生産率の0.5倍程度の値をとる。また生産率の高い断面領域では移流率は負値をとり、下流では正値をとる。これは樹木群の直下流部で生産された乱れエネルギーが平均流によって輸送されていくことを示す。流下に従い平均流による乱れエネルギーの移流率は減少する。最終的には断面内の生産率と消散率が釣り合う流れ場となる。

乱れエネルギー

$$k = \frac{1}{2} \overline{u_i'^2} \quad (\text{式-1})$$

乱れエネルギーの輸送方程式

$$\begin{aligned} \frac{\partial k}{\partial t} = & -\overline{u_i} \cdot \frac{\partial k}{\partial x_i} - \rho \overline{u_i' u_j'} \cdot \frac{\partial \overline{u_i}}{\partial x_i} - \frac{\partial}{\partial x_i} \left(\frac{1}{2} \overline{u_i' u_i' \mu_i'} \right) \\ & + \nu \frac{\partial^2 k}{\partial x_i \partial x_i} - \frac{\partial \overline{p' u_i'}}{\partial x_i} - \frac{\partial \overline{u_i'}}{\partial x_i} \cdot \frac{\partial \overline{u_i'}}{\partial x_i} \end{aligned} \quad (\text{式-2})$$

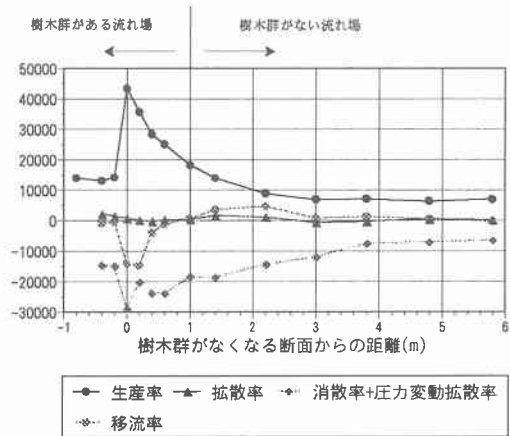


図-4 乱れエネルギーの収支の縦断変化

4. 結論

$-\overline{u'v'}$ は特に上層で卓越した値を示し、流下に従い横断方向に広がりながら減衰していき平衡状態に達する。
 $-\overline{u'w'}$ は特に高水敷高さで大きな値を示す。乱れエネルギーの生産率は樹木群の直下流部で急増し流下と共に減衰する。乱れエネルギーの生産率の高い領域から低い領域に平均流によって乱れエネルギーが輸送、消散され、平衡状態に近づくにつれて移流率は減少し、生産率と消散率が釣り合うようになる。