

II - 3

粗度境界付近の平面セン断流れに伴う乱流混合について

東北工業大学 学生員○朱 朝利
東北工業大学 正 員 阿部至雄
東北工業大学 正 員 相原昭洋

1. はじめに

河床材料の非一様性や植生の存在は粗度境界或いは植生境界付近にセン断流れを生じさせる。本研究では、この平面セン断流れが卓越する植生模擬複断面開水路流れに着目し、(1)セン断流れに及ぼす植生帯の影響、及び (2)乱流混合に伴う流水抵抗について考察する。

2. 実験概要

水路勾配を1/1000に調整した実験水路の床上に、粒径の異なる砂れきを用いて試作した粗度板を配置し、粗度断面(模擬複断面)を作成した。次に、水路中央部の粗面高水敷上に、高さ $K=15\text{mm}$ 、長さ $L_k=2\text{m}$ のプラスチック多孔質体(空隙率95%)の模擬植生を設置し、植生断面とした(図1)。流速の計測断面位置として、植生断面では植生帯中央部、植生帯上流端から上流側へ5cm及び植生帯下流端から下流側へ5cmの3断面を選定し、その水面下5mmの位置で、可視化計測(PTV)及び点計測(小型 π 型流速計・FLDA)を実施した。なお、実験で対象とした流れは全て常流である。

3. 実験結果とその考察

3. 1 平面セン断流れの構造

図2は主流流速の横断分布の一例を示したものである。また、図3に植生の有無による主流速の速度差の変化を示した。図によれば、植生帯が存在すると、植生帯上の流れは減速するが、主流域内の流れはむしろ加速され、その傾向は植生帯背後において特に顕著に現れている。即ち、植生帯の存在によって高低水敷間の速度差が増大していることが知れる。

図4に示したセン断流域の平均速度勾配と水路 π 外比との関

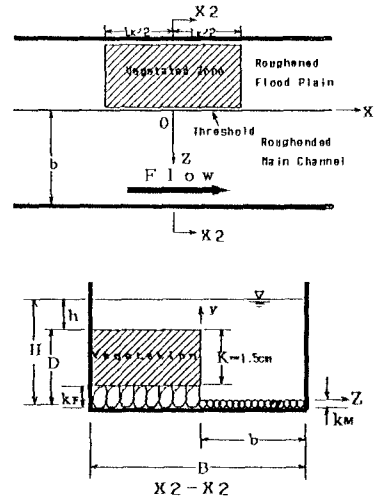


図1 流れ場の模式図

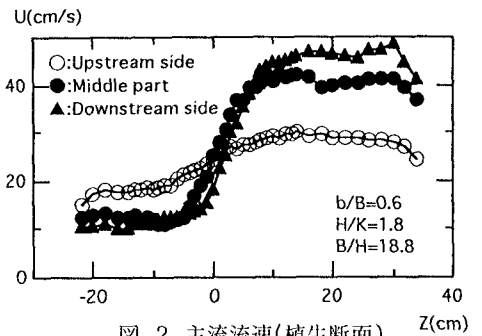


図2 主流流速(植生断面)

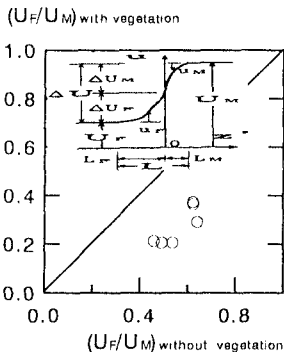


図3 主流流速比の比較

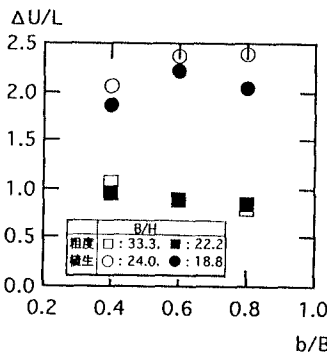


図4 $\Delta U/L$ vs. b/B

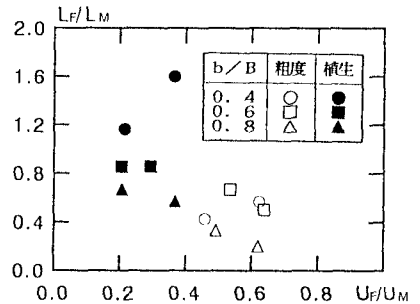


図5 L_f/L_M vs. U_f/U_M

係に、一義的な関係はそれほど認められないが、セン断流の規模拡大に対する植生帯の関与は大きいと言える。また、図5に示した高低水敷内に生じる混合幅比と流速比との関係から、 $b/B=0.4$ (高水敷幅が低水敷幅より長い場合)を除き、乱流混合に伴うセン断流の形成は主流域内で卓越する。次に、図6及び図7に示したように、乱れ強度とReynolds応力が粗度及び植生境界付近で増大していること、また、運動量の輸送が主として主流域から高水敷側へなされていることが分かる。

3. 2 乱流混合に伴う流水抵抗

粗度或いは植生境界面に作用する見掛けのセン断力を $\tau_a = \rho \varepsilon du/dy$ と表すとき、石川等(1984)の提案に基づく、 $\tau_a = \rho \gamma \Delta U^2$ である。ここに、 γ :境界混合係数、 $\Delta U = U_M - U_F$:速度差、 $\varepsilon = \gamma LrUr$:水平方向の渦動粘性係数(Lr :混合領域の代表長さ、 Ur :混合領域の代表流速)である。ここで、 $Lr=L$ 、 $Ur=\Delta U$ とすると、Prandtlの混合距離の仮説との対応において、 γ は κ^2 に相当することになるが、図8によれば、 γ 値は κ^2 より1桁小さく、ほぼ、 10^{-2} のオーダーであり、水没植生帯を有する流れの γ 値は植生がない場合に比べて更に小さくなっている。なお、この僅かな γ 値の変化がセン断流の混合幅や速度勾配と言った流れ内部の微細構造に影響を及ぼす。

次に、模擬複断面の低水敷と高水敷の水理量に各々添字MとFを付すとき、合成粗度係数を $N_c = (A_M + A_F) R_c^{2/3} I^{1/2} / Q$ から算出し、図9に示した。ここに、 $R_c = \{ (A_M R_M^{2/3} + A_F R_F^{2/3}) / (A_M + A_F) \}^{3/2}$ 、 $Q = U_M A_M + U_F A_F$ であり、未知量 U_M と U_F は、 $\rho g A_i I - \tau_i S_i \pm \tau_a$ 、 $h=0$; $i=F, M$ (複号同順)、 $\tau_i = \rho g n_i^2 U_i^2 / R_i^{1/3}$ ($i=F, M$)から求めた。なお、 $(N_c)_{\gamma=0}$ は従来の分割法に対応する値である。図によれば、今回の実験範囲では、見掛けのセン断力の粗度係数に対する影響は高々1.5%程度(有効数字の3桁目)であって軽微であった。

4. あとがき

有限の植生帯を有する河道部の粗度境界及び植生境界付近における乱流混合に関して得られた結果を列挙する。

(1) 高水敷上の植生帯の存在は、高水敷上の流速の低減より、低水敷内の流速を加速させる。また、乱流混合に伴うセン断流の形成は主に低水路内に生じる。

(2) 境界混合係数は植生帯が存在すると多少減少する傾向を示すが、そのオーダーはほぼ 10^{-2} 程度である。しかし、 γ 値の僅かな変化はセン断流内部の微細構造に敏感に影響する。また、 τ_a の N_c への影響は有効数字3桁目に対し高々1.5%程度であった。

最後に、本学学部学生金子靖雪、工藤誠志両君には実験等に際し多くの協力を得た。ここに記して謝意を表したい。

参考文献

- 1) 石川・山崎・金丸(1984):開水湖と断流に関する実験研究,第39回年報,第2部,pp.437~474.
- 2) 福岡・藤田(1989):複断面河道の抵抗予測と河道計画の応用,土木学会論文集, No.411, II-12.

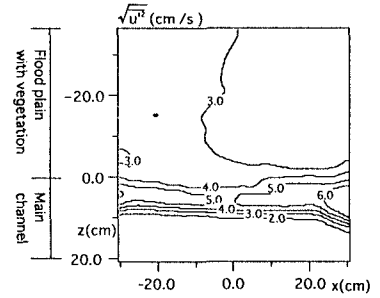


図6 乱れ強度の水平分布

($b/B=0.4$; $H/K=1.8$; $B/H=18.8$)

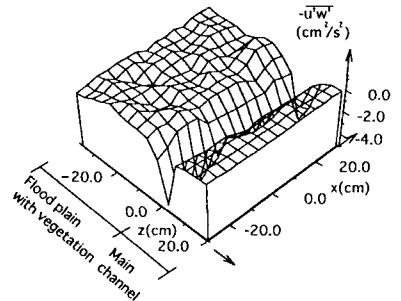


図7 Reynolds応力の水平分布

($b/B=0.4$; $H/K=1.8$; $B/H=18.8$)

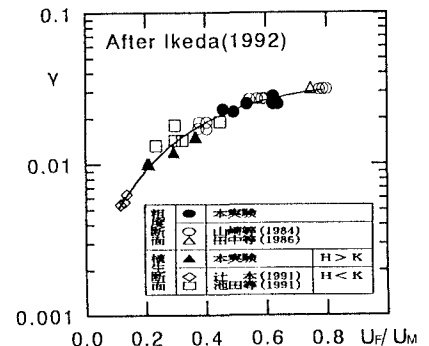


図8 γ vs. U_F/U_M

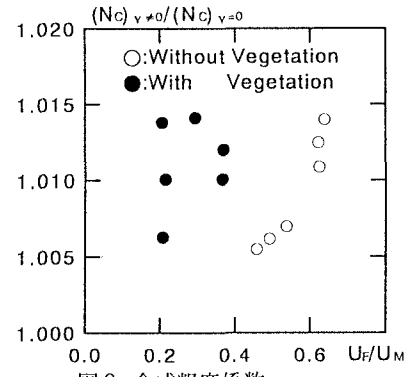


図9 合成粗度係数