

植生層を伴う開水路流れの実験的研究

愛媛大学工学部 正会員 鈴木 幸一
愛媛大学工学部 正会員 清水 義彦
愛媛大学工学部 学生員 ○中廣 政之

1. はじめに

自然河川の高水敷に見られる水辺植生群落や灌木等が流れや河床変動（洗掘，堆積作用）に対していかなる影響を及ぼすかは，河川水理学上重要な問題である．そこで本研究では，水理実験を通じて，植生層内部及び上層部における流速分布，乱れ強度分布，Reynolds応力分布等を計測し，植生層内外に形成されるせん断乱流の特徴を抽出してその構造を把握することを目的とする．

2. 実験概要

本研究では，長さ10m，幅0.4mの変勾配型直線水路に模擬植生（塩化ビニル製）を配置し，流量・勾配を種々変えて実験を行なった．測定は直径3mmの小型プロペラ流速計及びhot-film流速計を用いて流速測定を行なった．実験結果の検討考察のため植生境界面での摩擦速度を境界面でのReynolds応力から ($u_{*0} = \sqrt{-\overline{u'v'}}$) とした．

3. 実験結果及び考察

図-1に平均流速分布，図-2に流下方向，図-3に鉛直方向乱れ強度分布，図-4にReynolds応力分布を示す．表面流の存在しない流れ($H/k < 1$)では様な流速分布が見られ，乱れ強度分布はほぼ一定で小さい値を取り無相関な乱流場が形成され，表面流が存在する($H/k > 1$)と，Reynolds応力分布から理解されるように，境界面近傍の植生層内に相関構造を有する乱流場が形成される．また平均流速分布よりこの領域では，表面流の速い流速に引きずられた形の流速分布（Couette 流的分布）を持ち境界面近傍から離れると水路床勾配に応じて一定の流速値（固有浸透流速 u_s ）を示す．この固有浸透流速とエネルギー勾配との関係を図-5に示す．

$$I_e = k u_s^2$$

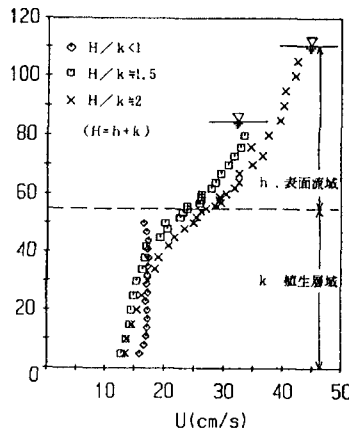


図-1 平均流速分布

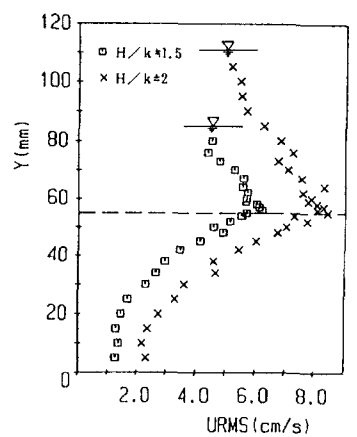


図-2 流下方向乱れ強度分布

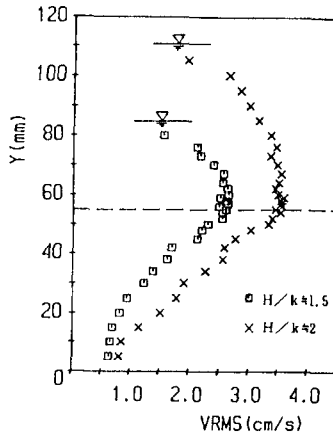


図-3 鉛直方向乱れ強度分布

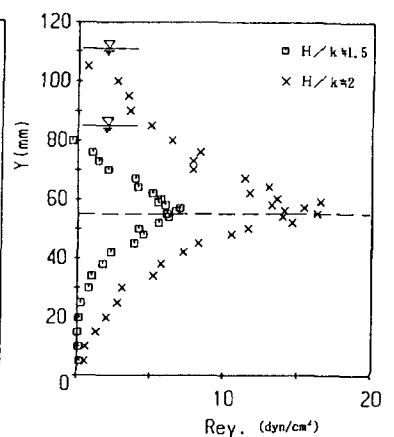


図-4 Reynolds 応力分布

図-1に平均流速分布，図-2に流下方向，図-3に鉛直方向乱れ強度分布，図-4にReynolds応力分布を示す．表面流の存在しない流れ($H/k < 1$)では様な流速分布が見られ，乱れ強度分布はほぼ一定で小さい値を取り無相関な乱流場が形成され，表面流が存在する($H/k > 1$)と，Reynolds応力分布から理解されるように，境界面近傍の植生層内に相関構造を有する乱流場が形成される．また平均流速分布よりこの領域では，表面流の速い流速に引きずられた形の流速分布（Couette 流的分布）を持ち境界面近傍から離れると水路床勾配に応じて一定の流速値（固有浸透流速 u_s ）を示す．この固有浸透流速とエネルギー勾配との関係を図-5に示す．

(1) $I_e = k u_s^2$ (I_e はエネルギー勾配， k は植生材料特性に依存する係数)

また、乱れ強度・Reynolds 応力分布が境界面において最大値を取ることは、境界面をはさんで強い渦層が存在することとし、coherent な乱流場となることが理解される。また、植生層内におけるReynolds応力及び平均流速分布は、次式のような指数関数を用いて近似可能である。図-6にその様子を示す。

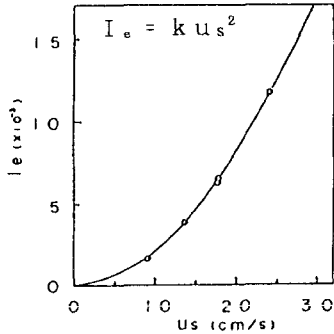


図-5 I_e と u_s との関係

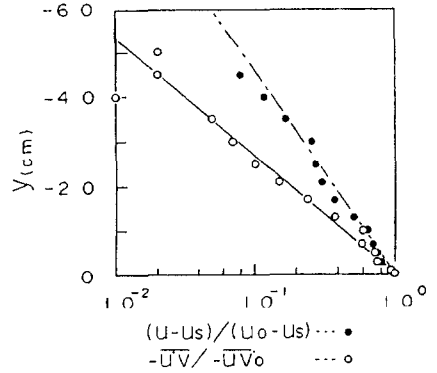


図-6 植生層内での Reynolds 応力 平均流速分布の変化

$$-\rho \overline{u'v'} = -\rho \overline{u'v'_0} \cdot \exp(\alpha y) \quad (2)$$

$$(u-u_s) = (u_0-u_s) \cdot \exp(\beta y) \quad (3)$$

(α , β は減衰係数, 植生頂部での平均流速及びReynolds 応力値は u_0 , $\overline{u'v'_0}$ とする)

このとき混合距離 l は次式で表され, 境界面では有限な混合距離 l_0 とする。

$$l = l_0 \cdot \exp\{(\alpha/2 - \beta)y\} \quad (4)$$

$$l_0 = u_{s0} / \{(u_0 - u_s) \cdot \beta\} \quad (5)$$

また、植生層上においては、次式のように仮定できる。

$$l = (l_0 + \kappa y) \cdot \sqrt{(1-y/h)} \quad (6)$$

($\kappa = 0.4$, y は鉛直方向軸, h は植生層上の水深)

図-7 は流速分布のスプラインフィットによる混合距離 (実測値) と式(4), (6)より得られた混合距離 (計算値) との対応を示したもので、実測値の傾向を良好に再現し、式(2)~(6)の妥当性が示されている。次に、流れ場の中にcontrol-volumeを考えそれに働く力の釣り合いを考える。まず、植生層上についての釣り合い式は

$$d\tau/dy = -\rho g \sin \theta \quad (7)$$

で表される。ここで τ はcontrol-volumeの上下面に働くせん断応力, ρ は水の密度, g は重力加速度, θ は水路床勾配角とする。植生層内での釣り合い式は、植生による形状抵抗が生まれるため、 C_D を抗力係数として

$$d\tau/dy = C_D \rho u^2 - \rho g \sin \theta \quad (8)$$

と表される。式(2)で与えられるReynolds応力分布と、式(8)及び混合距離理論を用いて式(6), (7)より、それぞれの平均流速分布を導き植生界面での境界条件を用いて平均流速分布を求めた(図-8)。計算値は実測値の傾向を良好に再現している。

4. まとめ

(1)表面流は植生境界面に特徴づけられた壁面領域乱流となり、植生層内の流れは、境界面でのCouette 流的領域と植生深部の一様な流速分布の領域に分けられることを見出した。(2)植生層を伴う開水路流れの統計諸量の分布を実験より抽出しcontrol-volumeに働く力の釣り合い式から平均流速分布を算出した。

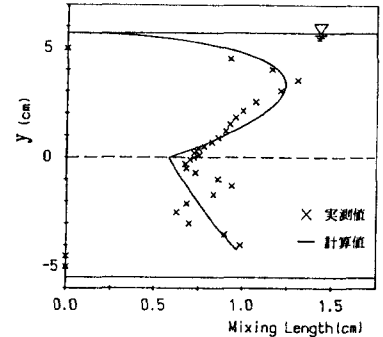


図-7 混合距離分布 (理論値と実測値との対応)

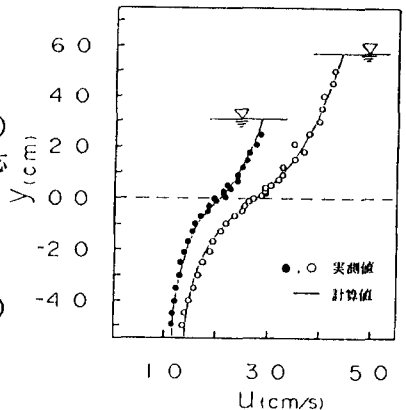


図-8 平均流速分布 (理論値と実測値との対応)