

Ⅱ-35 樹木上状の植生を伴う流れの乱流構造に関する研究

徳島大学大学院 学生員 ○濱井 宣明
 徳島大学工学部 正会員 岡部 健士
 三井造船株式会社 正会員 井上 貴之

1. はじめに 従来、ヨシやオギのような円筒状の樹体モデルを用いた乱流構造に関する研究が数多く行われてきた。しかし、アカメヤナギやネムノキなどのように樹幹と樹冠の区別が明瞭な樹体モデルについては、十分な検討がなされていない。そこで本研究は樹幹・樹冠部を持つ樹体モデルを用いた水理実験の結果を紹介するとともに、一次元 $k-\epsilon$ 乱流モデルによる鉛直流速分布の算定法の一般化を試みた。

2. 樹体モデルを用いた実験 本実験では、長さ7m、幅40cmの可変勾配・矩形断面水路に図-1のような樹体モデルを配置した。樹体モデルは、直立した樹冠部と流れによって撓んだ枝の樹冠部を持つ樹木を想定しており、直径4mmのアルミ管に直径0.9mmの銅線を5本差し込んだ後、下流に60度折り曲げ、さらに、その先端に外径1.6mmのゴムチューブを差し込んでいる。このような樹体モデルを6cm×6cmの正方形配列(Aシリーズ)および縦・横断方向間隔がともに12cm(Bシリーズ)あるいは6cm(Cシリーズ)の千鳥状配列で設置した。

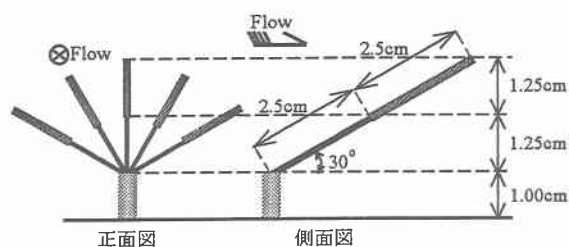


図-1 樹体モデルの概要図

実験では、水路床勾配を $I=1/250$ に固定した後、水深が5cmの場合について、図-2の”・”に示す位置に立てた鉛直測線上で極細ピトー管により流速分布を計測した。

また、乱れ特性を調べるため流速分布特性の実験と同様な単位配列メッシュ内に設定した測線上で、レーザ流速計を用いて、流下方向(U)および鉛直方向(V)の流速を測定し、得られた流速値からレイノルズ応力を算出した。

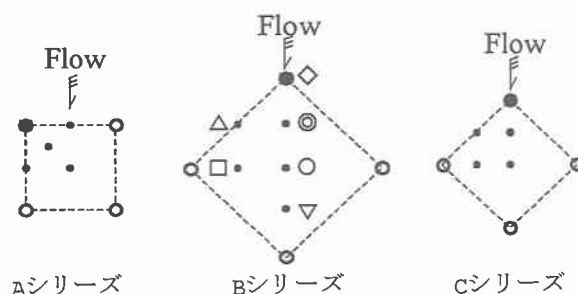


図-2 計測を行った測線の位置

3. 実験結果 流速分布特性の実験結果の代表例としてBシリーズのものを図-3に示す。どの測線上においても流速分布は、表面からの運動供給によって枝部に相当する高さの流体が加速されtangent hyperbolic型となっている。また、使用した樹体モデルの樹冠部の抵抗面積が大きいため、図中に示す範囲内に負の速度勾配が現れている。さらに、各測線に沿う流速分布において植生層内に流速が極小値をとる場所がいくつか確認できる。この場所は、一つの測線上で測点が樹体モデルの樹幹部部材に最も接近する高さにはほぼ相当しており、極小値の発生は、いわゆるno-slip conditionの効果によるものと解釈できる。このような、樹幹部部材の影響は、乱れ構造にも無関係ではなく、おそらく、乱れの強さやスケールにもある程度の抑制作用が及んでいるものと推察される。

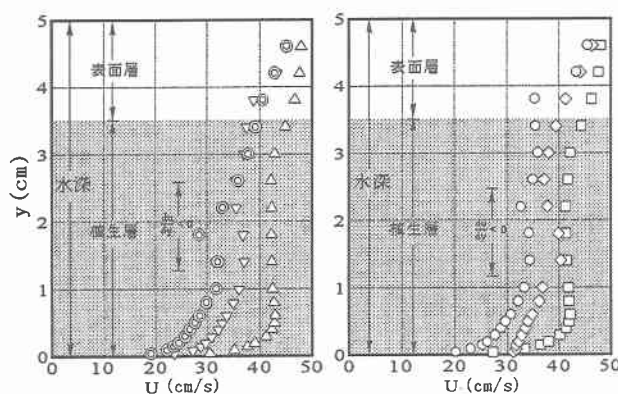


図-3 Bシリーズの流速分布

次に、乱れ特性に関する実験結果の代表例としてBシリーズについてのレイノルズ応力の実測値を図-4に示す。なお、描点の記号は、図-2で示した測線の位置に併記した記号と一致されており、見かけの河床せん断力で基準化されている。

シンボルマーク (Δ , $\square$, $\diamond$) で表された測線に沿うレイノルズ応力分布は植生層と表面層の境界部付近で極大値をとっていることが分かる。これにより、いずれのケースにおいても境界部付近で運動量輸送が活発に行われていることが分かる。さらに、シンボルマーク (Δ , $\square$) で表された分布では、植生層の中位付近とそれ以下の領域ではレイノルズ応力が負となっていることが分かる。これは、この領域で行われている運動量輸送の方向が、他の流れ場で行われているものと比較して逆転していることを示唆するものと思われる。また、シンボルマーク (∇ , $\odot$,

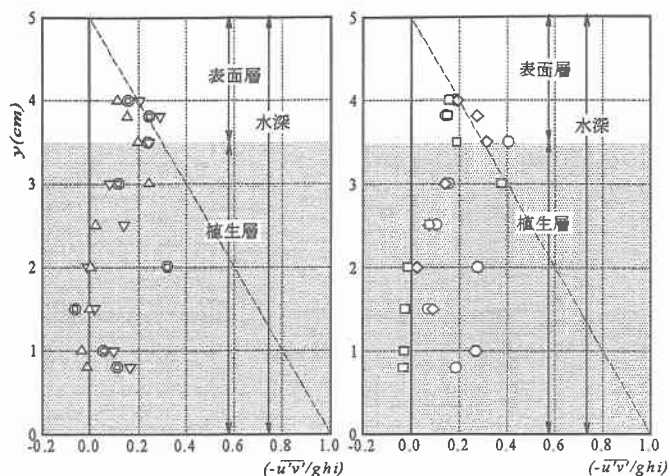


図-4 Bシリーズのレイノルズ応力

$\circ$) で表された樹体モデルの直下流側に位置する測線上の分布状況を見てみると、表面層と植生層の境界部付近と植生層内で各測線上の測点が樹体モデルの樹冠部材に最接近する高さの2カ所で極大値をとっている。さらに、この植生層内の極大値の場所は、流速分布に見られる極小値をとる場所にほぼ一致しており、樹体モデルの存在によって流れが縮・拡流し複雑な運動量交換が行われていることが分かった。

4. 数値計算の結果 上記のような実験結果を数値計算により再現するために一次元 $k-\epsilon$ 乱流モデルを構築した。本モデルは、清水¹⁾らによって提案された鉛直2次元流の基礎式を1次元化して用いている。境界条件について、河床上にはそこでの実質摩擦速度に対応した平衡壁面乱流が存在し、一方、水面では、瀬津・中川²⁾のモデルと同様な乱れの減衰が生じるものと仮定した。基礎式と境界条件式は、完全乱流層の範囲内でPatankar³⁾の積分法で離散化され、SIMPLEアルゴリズムと類似した収束法により数値解析される。基礎式中の各モデルパラメータについては、既存の標準値あるいは推奨値を用いた。ここで、植生抵抗を表す項については、より大きなエネルギーを生成すると見なし若干大きめの値をとっている。さらに、渦動粘性係数については、基礎式に補正関数をつけることにより修正を行った。

以上のように同定された $k-\epsilon$ モデルによる流速分布の計算値と実測値を比較したものを図-5に示す。図中には見かけの河床せん断応力で基準化されたレイノルズ応力の分布状況も併記している。さらに、Bシリーズについてはレイノルズ応力の実測値も示す。ただし、この図の実測値は数本の測線上の実測値を適当な重みで平均化したもので計算値と実測値の適合性は概ね良好であることが分かる。しかし、植生

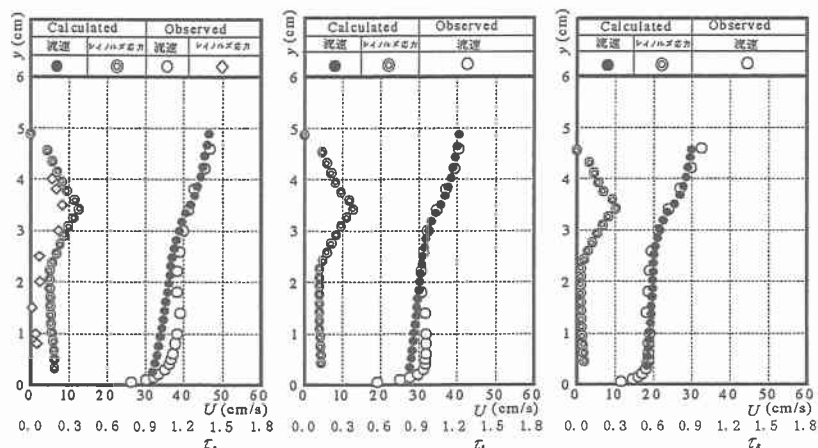


図-5 流速分布およびレイノルズ応力分布の計算値と実測値

密度が粗な場合には底面付近で十分な適合性は得られておらず、乱流が完全に発達していないことなど改良を加える必要がある。また、Bシリーズにおける実験値と計算値のレイノルズ応力分布を比較してみると、両者の分布形状は類似しているものの実験値は計算値よりも全体的に小さな値となっており、本モデルでは、流れの内部応力までは完全に再現されていないため、今後さらに検討を重ねる必要がある。

参考文献 1) 清水・辻本・中川：直立性植生層を伴う流れ場の数値計算に関する研究，土論集，No. 447/II 19, pp. 35-44, 1992 2) 瀬津・中川：修正 $k-\epsilon$ 乱流モデルによる開水路乱流の数値計算法，土論集，第387号，pp. 125-136, 1988. 3) S. V. Patankar (水谷幸夫・上月正司共訳)：コンピューターによる熱移動と流れの数値解析，森北出版，pp. 24-48, 1995.