

植生帯を通過する流れとその数値解析法

徳島大学大学院 学生員 ○井上 貴之
 徳島大学工学部 正 員 岡部 健士
 (株)住鋳コンサルタント 正 員 児島 眞

1. はじめに 多自然型の河川改修・管理を合理的に進める際の基礎として、植生が洪水流と流砂に及ぼす影響の解明が重要である。著者らは、幾何条件が従来のものより複雑な植生モデルを用いて流れの抵抗則に関する実験資料を集積するとともに、 $k-\varepsilon$ 乱流モデルによる説明を試みた。

2. 実験内容と結果 実験では、幅 40cm、長さ 7m の可変勾配矩型断面水路に図-1 のような植生モデル A および B を配置し、等流を通水しながら、流速の鉛直分布をピトー管により計測した。植生モデル A は直径 1mm のシリコンチューブを切断して作成し、1cm×1cm (caseA-1) あるいは 2cm×2cm (caseA-2) の正方形メッシュの格子点に配列した。モデル A の単体は、水路床付近ではこれに垂直であるが、上方では下流側に湾曲し、先端では水路床と $50^\circ \sim 55^\circ$ の角度をなしている。

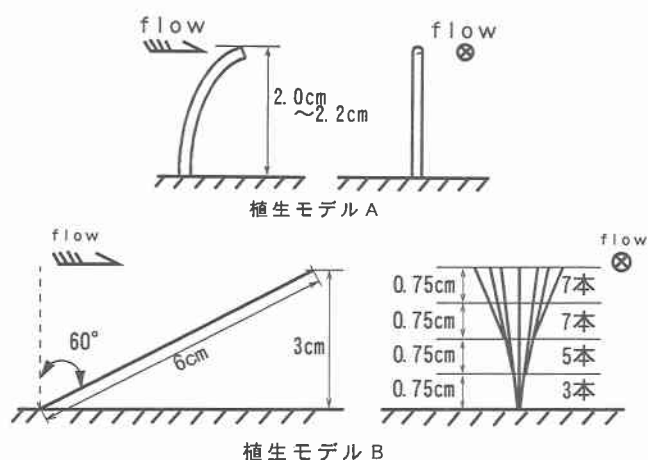


図-1 植生モデルの概要図

一方、植生モデル B は直径 0.87mm の真鍮線を高さにより本数を変えて結合して作成し、水深方向から 60° 下流に傾けて、縦横断方向の間隔がともに 6cm (caseB-1) あるいは 12cm (caseB-2) の千鳥状配列で設置した。流速分布の計測点は図-2 中の“・”で示すとおりである。

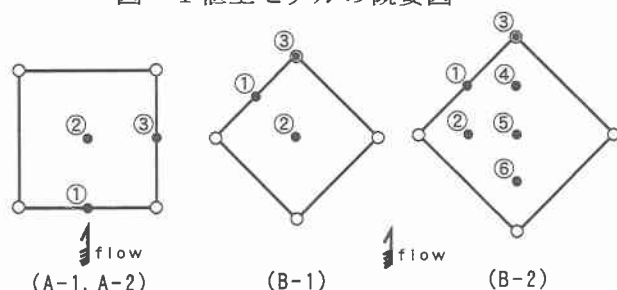


図-2 流速計測を行った測線の位置

実験結果の代表例として caseA-1 と caseB-1 から各 1 組ずつ選んで示すと図-3 のようである。いずれの流速分布も、植生頂で変曲点を持つ tangent hyperbolic 型に近い形態を呈しているが、一部には、水路床の壁面効果が顕著で、流れが 2 層の重力せん断流になっていると見られるものもある。また、分岐状の植生モデルの場合には、植生モデルから発生する後流や縮拡流の効果が混合し尽くさずに残留しているようであって、流速分布の場所的变化が大きく、また、植生層内の流速分布に極大・極小点が認められる。

3. $k-\varepsilon$ モデルによる流速分布の再現

上述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の $k-\varepsilon$ 乱流モデルを構築した。と

ころで清水ら¹⁾は、植生を伴う定常・鉛直二次元開水路不等流について、空間平均化されたレイノルズ方程式ならびに乱流エネルギーと乱流エネルギー逸散率の保存式を導いている。ここでは、これらを等流の条件下で単純化したものを基礎式とした。境界条件は水面では、楠津・中川²⁾と同様の仮定を用い、水路床では

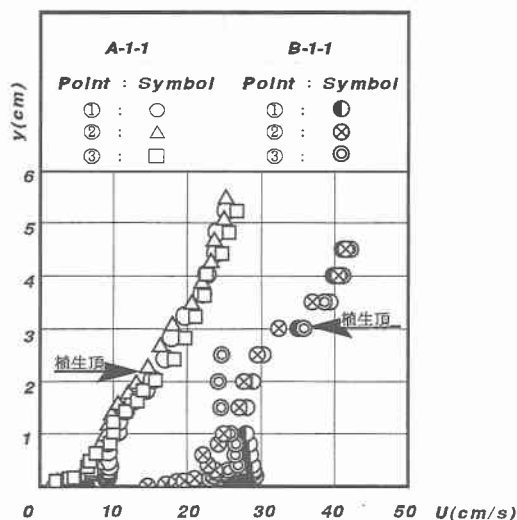


図-3 流速分布の実測例

，水路床に近い領域の流れが水路床上の摩擦速度に規定される平衡壁面乱流になるものと仮定した．そして，基礎式の数値計算法としては，Patankar³⁾のSIMPLEアルゴリズムと同様な収束手法を用いた．なお，収束計算の初期値は，簡単な拡散モデルから求めた．モデル定数については，既存の標準あるいは推奨値を用いた計算値と実験値の適合性から，3つのモデル定数について修正を施した．まず，植生抵抗を表す項の係数について，植生モデルが従来のもものと比較して複雑な形状であるため，より大きなエネルギーを生成すると見なし若干大きな値とした．また，抗力係数をホーナーの式をもとに求めた．さらに，渦動粘性係数については，基礎式に補正関数を付けることにより修正を行った．この補正関数は，実際には，水路床を被覆するような形態の植生によって水深方向の乱流混合が抑制され，結果として渦動粘性係数が過大評価されていることを考慮したものである．これにより，渦動粘性係数は植生頂付近で小さめの値となる．以上のように同定された $k-\varepsilon$ モデルによる流速分布の計算値と実験値の比較を図-4に示す．なお，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あるが計算結果と実験結果は概ね良好であることが分かる．しかし，より高い精

度を求めるなら，水面条件やスケールの大きな植生モデルについての拡散モデルに改良を加える必要がある．

4. 数値計算例 構築した $k-\varepsilon$ モデルを用いて，仮想的な条件の植生帯における流量～水深関係を計算した結果を紹介する．ここでは，幅40cmの水路に図-5に示す3種の植生モデルがそれぞれ面積密度を同一にして直立状態で存在している場合

について，流量～水深関係を比較した．図-6は，水路床勾配として1/800と1/1600の2種を想定し，単位面積当たりの植生本数を0.04，抗力係数を0.8とした場合の結果である．計算結果から，面積密度が同じであっても，単体の形状が異なることにより，水深差が顕著に表れることが分かる．

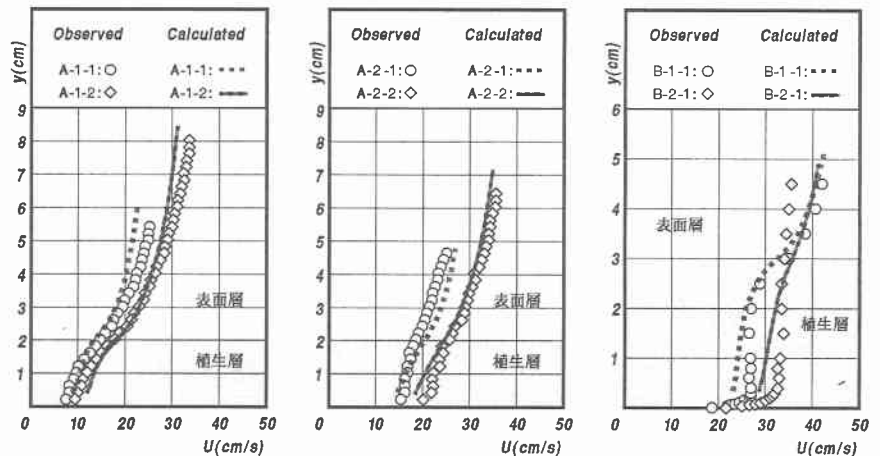


図-4 $k-\varepsilon$ モデルによる計算例と実験値の比較

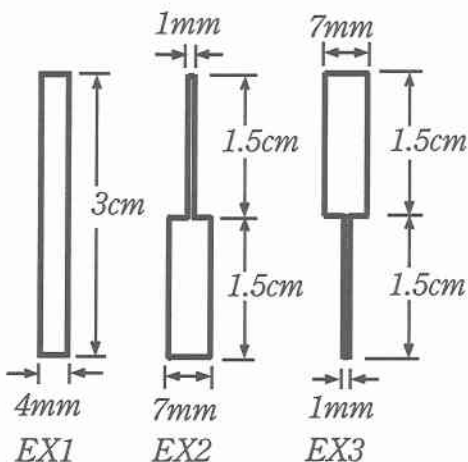


図-5 植生モデル概要図

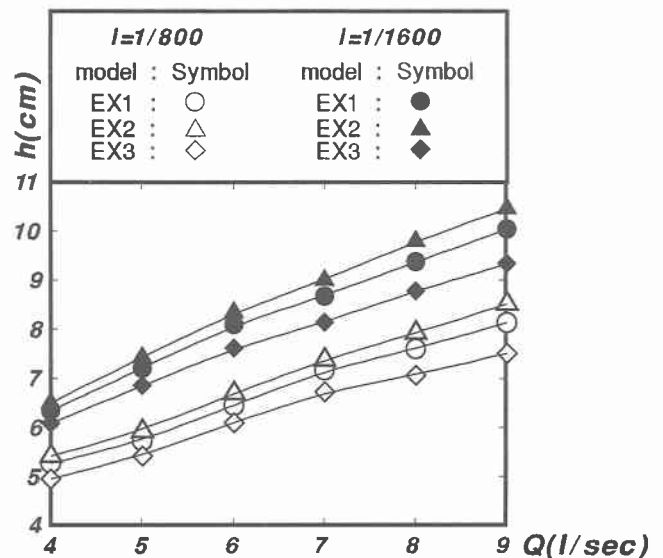


図-6 $k-\varepsilon$ モデルによる計算例

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,pp35-44，1992 2)瀬津・中川：修正 $k-\varepsilon$ 乱流モデルによる開水路乱流の数値計算，土論集，第387号，pp.125-136,1988 3)Patankar：Numerical Heat Transfer and Fluid Flow，Taylor & Francis，Chap.5,pp.59-70,1972