

II-299

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
 徳島大学大学院 学生員 濱井宣明

1. はじめに 多自然型川づくり代表されるような環境を重視した河川の改修・管理を合理的に進める際の基礎として、植生が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、 $k-\varepsilon$ 乱流モデルによる流れの数値計算を試みた。

2. 実験内容と結果 実験では、幅 40cm、長さ 7m の可変勾配長方形断面水路に図-1 のような植生モデルを配置し、等流を通路しながら、流速の鉛直分布をピトー管により計測した。植生モデルは、流れによって撓んだ幹部と枝部を持つ植生モデルを想定したものであり、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° 折り曲げ、さらに、その先端にゴムチューブを差し込んでいる。このような植生モデルを、6cm×6cm の正方形メッシュ（A シリーズ）、または、縦横断方向の間隔が、ともに 12cm（B シリーズ）あるいは、6cm（C シリーズ）の千鳥状メッシュの格子点に配列した。流速計測は、各シリーズにおいて、水深が植生頂高さよりも高い流れと低い流れにおいて図-2 の“・”に示す点に立てた鉛直直線で行われた。実験結果の代表例として C シリーズのものを示すと図-3 のようである。植生が水没した場合の流速分布は、いずれのものも tangent hyperbolic 的な形態をしており、河床から高さ 2cm までの分布特性は、植生が拔水した場合と非常に類似している。さらに、植生水没の一部や、植生拔水の水面付近では、植生モデルによる no slip condition の影響で、速度勾配が負となる傾向が認められる。

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。 $k-\varepsilon$ モデルの基礎式としては、清水ら¹⁾が、植生を考慮した流れについて適用した式を等流の条件下で単純化したものを用いた。境界条件としては水面では、瀬津・中川²⁾と同様の仮定を用い、水路床では、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。

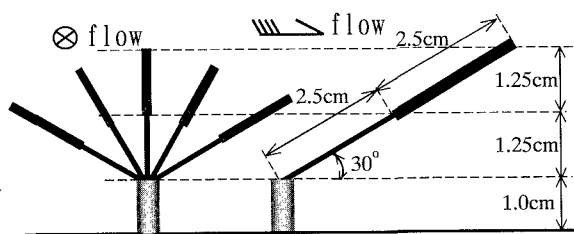


図-1 植生モデルの概要

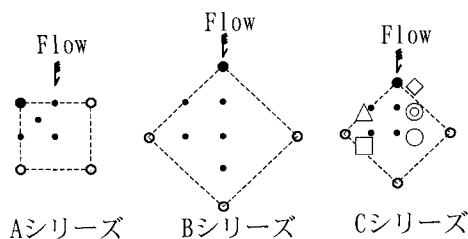


図-2 流速計測を行った測線の位置

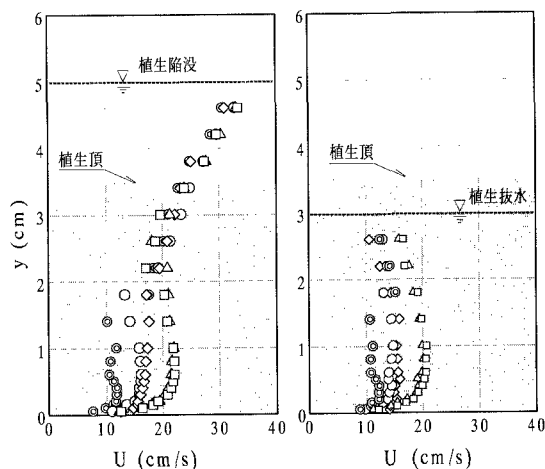


図-3 流速分布の実測例

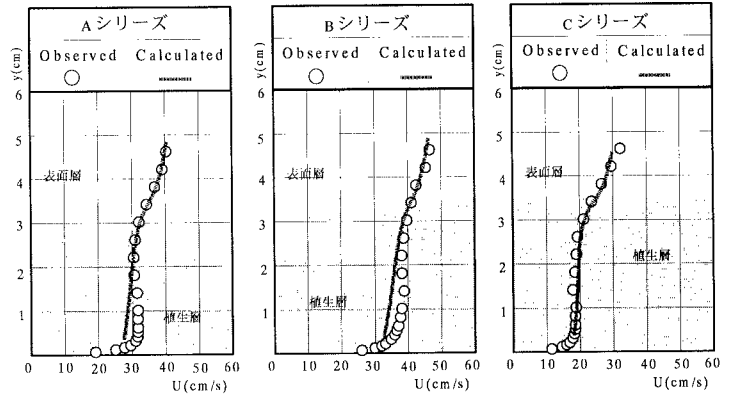
水路床では、水路床に近い領域の流れが水路床上の摩擦速度に規定される平衡壁面乱流になるものと仮定した。

そして、上述のような基礎式と境界条件を用いた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。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との適合性の検討を通して、3つのモデル定数に対して以下の修正を施した。まず、植生抵抗による流れエネルギーの生成を表す項の係数 C_{rk} については、清水らが円筒状かつ直立性という単純な形状の植生モデルに対して推奨した値を若干大きくする必要があった。これは、より複雑な形状の抵抗体がより大きな流れエネルギーを生成すると考えられることから妥当と思われる。

モデルパラメーター		従来のモデル	本モデル
標準型 $k-\epsilon$ モデルのパラメーター	σ_k	1. 0 0	1. 0 0
	σ_ϵ	1. 3 0	1. 3 0
	C_1	1. 4 4	1. 4 4
	C_2	1. 9 2	1. 9 2
	C_3	0. 0 9	0. 0 9
植生効果項のパラメーター（清水、辻本）	C_{rk}	0. 0 7	0. 1 2
	$C_{f\epsilon}$	0. 1 6	0. 1 6
渦動粘性係数	ν_t	$C_\mu \frac{k^2}{\epsilon}$	(植生層) $C_\mu \frac{k^2}{\epsilon} \{1 - K_{vt} (\frac{y}{h_v})^3\}$
			(表面層) $C_\mu \frac{k^2}{\epsilon} \{1 - K_{vt} (\frac{H-y}{H-h_v})^3\}$

表－1 モデルパラメーターの修正

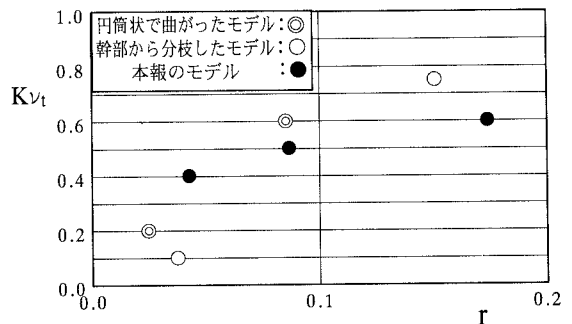
また、渦動粘性係数については、オリジナルの表示式に表－1に示すような補正を施すと良い適合性が得られた。この補正関数は、水路床を被覆するかのような形態の植生によって水深方向の乱流混合が抑制され、結果として植生頂付近を中心に、渦動粘性係数が小さくなることを考慮したものである。なお、 K_{vt} の値は実験値との適合性から経験的に与えた。さらに、抗力係数については、傾斜を付けた部分の抗力係数をホーナーの式⁴⁾をもとに求めた。



図－4 $k-\epsilon$ モデルによる計算例と実測値の比較

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。また、 K_{vt} の値には、(A, B, および C シリーズについてそれぞれ、 $K_{vt}=0.5, 0.4$, および 0.6) を与えた。計算結果と実験結果は、水深がある程度高いところでは概ね良好であることが分かる。しかし、水路床付近では、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を考慮するなど改良を加える必要があると思われる。

本モデルを実用化するには、 K_{vt} の値の決定法を確立しておく必要がある。著者ら⁵⁾は、数値計算により得られた流速分布を、可能な限り実測値に近づけるために K_{vt} の値を選定した。こうして得られた K_{vt} の値とそれを支配するであろう円筒状で曲がった植生モデルや幹部から枝分かれした植生モデル、および、本報での植生モデルの河床被覆率 r との関係を整理したものが図－5である。この図より K_{vt} は、どの植生モデルについても河床被覆率の増加に比例して増えていく傾向にあり、植生の河床被覆率によって K_{vt} の値は、一義的に決定できることを示唆しているものと思われる。



図－5 河床被覆率 r と K_{vt} の関係

参考文献 1) 清水ほか：土論集，No.447/II-19, 1992 2) 瀬津・中川：土論集，第387号，1988 3) Patankar：Taylor & Francis, 1972 4) Bursnall and Loftin, NACA T, Note 2463 (1951) 5) 岡部ほか：水工学論文集 第41巻，1997