

## 柔軟な植生上の流れについての実験的研究

金沢大学工学部 正員 辻本 哲郎

金沢大学大学院 学生員 北村 忠紀

金沢大学工学部 学生員 ○岡田 敏治

## 1. まえがき

植生を伴う流れの水力が検討されているが、多くは円柱群に代表される非変形、非揺動のモデルが対象となっている。しかしながら下流部（最近の河川環境基本計画での自然学習ゾーンなど）でよく見られる葦などの植生は流れに対し大きく変形し、また揺動し（ときには穂波的な挙動もすることが指摘されている）、このことは抵抗特性、混合機構などに非変形植生にはない効果をもたらしているものと考えられる。そこで、本研究では柔軟な植生のモデルを選び、これによる模擬植生層を有する流れの構造を実験的に検討し、著者ら<sup>1), 2)</sup>が先に行った 剛な直立性モデルを用いた実験結果と比較して柔軟な植生上の流れの特徴を抽出する。

## 2. 実験の概要

実験は長さ12m、幅0.4mの可変勾配水路において、柔軟な植生のモデルとしてOHP用透明シートを短冊状に切って（厚さ $t=0.1\text{mm}$ 、変形前の高さ $k_0=5.0\text{cm}$ 、幅 $D=0.15\text{cm}$ 、植生間隔 $s=2\text{cm}$ ）水路幅方向・流下方向とも $s=2\text{cm}$ 間隔で配置した。著者ら<sup>1)</sup>は先に変形しない剛な植生モデル（竹製円柱、高さ $k=4.60\text{cm}$ 、 $D=0.15\text{cm}$ ）を用いた実験を行っておりこれと比較することとした。いずれも水路床はアクリル樹脂板である。水路中央部の植生の間隙において、超小型プロペラ流速計を用いて流速測定を行なった（1点当り20Hzで100秒のサンプリング）。実験は、路床勾配 $i=0.001\sim 0.007$ 、水深（路床から水面まで） $H=6\sim 12\text{cm}$ の範囲で行なった。水深が植生高さより低い場合ほぼ一様な流速分布形を呈し、このときの流速（ $u_{s0}$ ）は植生層を特徴づけるもので、植生層内流体塊に対する力の釣合から次のように表される。

$$u_{s0} = \sqrt{2gs^2i / (C_D D)} \quad (1)$$

ここに、 $C_D$ ：植生1本当りの抗力係数である。逆算された抗力係数は図1に示すようにReynolds数（ $Re \equiv u_{s0}D/\nu$ ）に対して減少領域である（より大きなReynolds数に対しては一定値が期待される）。

図1には剛な植生の抗力係数も併示したが、今回の柔軟なモデルの方が大きく、表面流の無い場合は柔軟な植生層内流れの方が抵抗が大きい（ $u_{s0}$ が小さい）。柔軟な植生の場合流れによる変形がもう一つの特徴である。水深が植生の頭より上に出るか否かで様相が変わるためここでは、被り水深のある場合について、植生頂部（変形後、路床からの高さ $k$ ）の変位  $k_0-k$  を測定し、頂部での流速 $u_k$ に対してプロットした（図2）。実験範囲で近似的に変位と $u_k$ との間に線形の関係が認められた。

## 3. 柔軟な植生を伴う流れの構造に関する考察

実験で得られた流速分布及び乱れ強度分布の例を図3に示す。流速分布は植生頂部付近で変曲点を持ち、乱れ強度分布は植生頂部付近で極大となり、植生界面近傍に強いせん断層の形成が予想される。特に植生層内にもせん断流流速分布の出現することが特徴である。これについては剛な植生層内流れに対して提案した次式

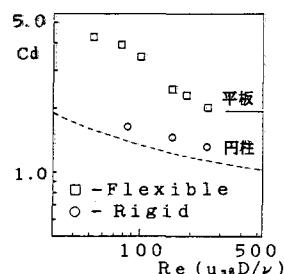


図1 抗力係数とReynolds数の関係

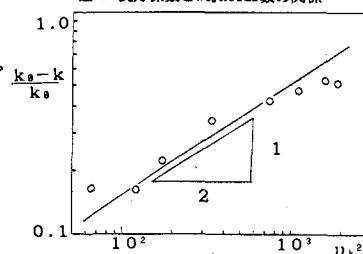


図2 植生頂部流速と植生変位の関係

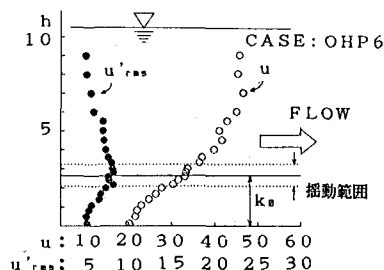


図3 Flexible Vegetation の流れの概略図

の指数式近似<sup>1)</sup>が柔軟性植生についても有効である(図4)。

$$\{u(y) - u_{s0}\} / (u_k - u_{s0}) = \exp(\beta y) \quad (y \text{ は植生層頂部からの高さ}) \quad (2)$$

式(2)は植生層内流速分布が $u_k$ ,  $u_{s0}$ の2つの速度スケールと、植生層内へ乱流運動量交換が染み込んでいる深さスケールの逆数である $\beta$ によって規定されていることを示す。剛な植生モデルでの実験と同様に $\beta s$ と $hi/k$  ( $h=H-k$ : 被り水深)の関係を図5に調べた。この結果、剛な植生に比べ柔軟な植生の方が $\beta$ が小さく(深くまで早い流体塊が入り込んでおり)、表面流が存在する時は柔軟な植生層の方が剛な植生層より流れ易くなっていることが推測される。

$u_k$ についても、剛な植生についての実験結果と同様界面での付加流速が( $u_k - u_{s0}$ )が $u_{s0}$ ,  $u_k$  ( $\equiv \sqrt{gh}$ )の2つの速度スケールに規定されたと考え、図6のようにプロットして、剛な植生モデルに対する結果と比較した。柔軟な植生の方が運動量交換が大きく、界面での流速値はやはり大きくなっている。

植生層内流速分布が決められると、表面流はその下方境界で、流速、流速勾配がそれに接続する。図3に示す乱れ強度分布より表面流のReynolds応力分布には植生層の影響がほとんど認められないものと考えられる。混合距離モデルを適用すると、界面での有限の速度勾配はそこで次(式(3))のように非零の混合距離( $l_0$ )を与え、表面流部で式(4)のような混合距離分布を推測できる。

$$l_0 = u_k / \{\beta (u_k - u_{s0})\} \quad (3) ; l = (\kappa y - l_0) \sqrt{1 - y/h} \quad (4)$$

実測された流速分布のスプライン近似から逆算された混合距離分布と式(4)を比較したものが図7で、式(4)がほぼ妥当なものと判断できる。式(4)の混合距離分布とReynolds応力の三角形分布から、表面流流速分布は次式で与えられる。

$$u/u_k = (1/\kappa) \ln(\kappa y/l_0 + 1) + u_k/u_k \quad (5)$$

これは原点を界面から $\delta \equiv l_0/\kappa$  ( $\kappa$ : Karman定数)だけ植生層内へシフトさせた対数則と相似である(図8)。以上のように式(3),(5)によって、植生層内外の流速分布を表すことができる。

#### 4. あとがき

今回の実験は柔軟な植生に覆われた水路の流れを剛な植生モデルと同様に定式化した。定式化に必要なパラメータ $u_k$ ,  $\beta$ の特性が剛な植生の場合と異なる。すなわち表面流との運動量混合が植生層の透水性パラメータだけに依らず、変形・揺動が鉛直混合を高めていることが明かとなった。今後、植生の揺動特性、流速の変動特性及びそれらの相関に注目して、揺動が促進する乱流混合のより詳細な検討を行う予定である。

参考文献 1)辻本・北村(1990)土木学会中部支部年講, 2)中川・辻本・清水(1990)水講演文集, 34.

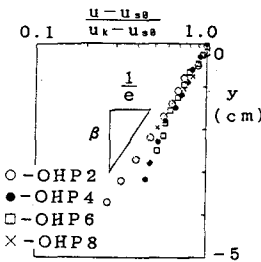


図4 植生内の流速分布

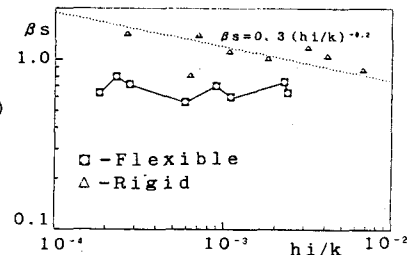


図5 βs - hi/k の関係

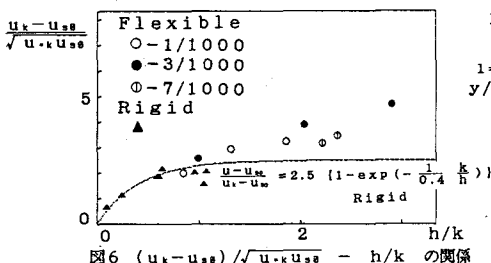


図6  $(u_k - u_{s0}) / \sqrt{u_k u_{s0}} - h/k$  の関係

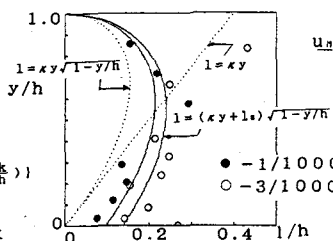


図7 混合距離の水深方向分布

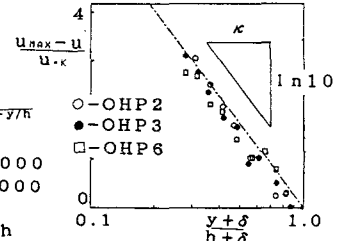


図8 表面流の欠速度表示