

植生を有するせん断乱流についての 実験的研究

京都大学工学部 正 員 中川博次
愛媛大学工学部 正 員 清水義彦
建 設 省 正 員 ○ 岩田美幸
京都大学大学院 学生員 佐藤寿延

1. はじめに 最近、河川における環境機能の向上が重要視されているが、河川環境における植生の役割は重要なものである。一方、河道内植生は疎通能力の低下などの影響も与えこの環境・治水の両面に対する影響をうまく調和させることが必要であり、そのために、植生を有する流れ場の研究を行う必要がある。本研究で対象とする植生は、葦や水草といった流れ場の中で揺動するものではなく、剛性が大きくて流れ場の中で揺動しないものを対象としている。基本的には、植生層内流れ（低速流）と表面流（高速流）が接している場合のせん断乱流を対象としている。

2. 実験方法 本研究で用いられた模擬植生は、6-6ナイロン製で高さ4.1cm、直径0.1cm、曲げこわさ $6.4 \times 10^2 \text{ g/cm}^2$ であり、水中での固有振動数は2.4Hzである。この模擬植生を1cmの正方格子状に張り付けて植生層を構成した。植生層の透水試験の結果よりこの植生層内流れと抵抗の関係は、乱流域の関係として、 $l = av^2$ ($a = 5.33 \times 10^{-5}$) で近似できることがわかった。実験は、幅50cm、長さ12mの勾配可変型直線水路で行われ、その下流側に植生層は6m分水路床全面に設置された。計測には、hot-film流速計を用い、データの収録条件は、sampling周波数200Hz、sampling個数8192個である。

3. 実験結果 図-1～3に平均流速、Reynolds応力、相関係数の分布を示す。図-1よりこの流れ場は植生境界面（以下単に境界面と呼ぶ）に特徴づけられたせん断乱流場であることがわかり、図-2よりReynolds応力は表面流では直線性が認められ、欠損しないこともわかる。また、植生層内ではその直線分布から欠損しているが、この欠損分は植生の抗力が受け持っているものと理解される。注目すべきは、図-3の相関係数の分布で、通常の開水路流（0.4程度）に比べ境界面近傍で0.6程度の大きな値を取り、この領域でコヒーレントな流れになっていることが示唆される。

ここで、植生層内流れについて検討してみる。植生層内でのReynolds応力を境界面での値を用いて無次元化し、片対数表示した【図-4】（ $l = \delta x \delta y$; δx , x方向の植生間隔; δy , y方向の植生間隔）。同図よりほぼ直線の周りに分布しており、式-1のように仮定できることがわかる。また同様にこのReynolds応力によって誘起された流速成分 $u(y)$ -US(US:表面流の影響を受けない領域での平均流速値)についても片対数表示を行った【図-5】。同図からも実測値がほぼ直線状に並び、誘起された流速成分も指数関数近似できることがわかる【式-2】。このときの減衰係数 α 及び β と h/k の関係を図-6・7に示す。 h/k が増加する程 α も β も減少傾向を示し、植生層下部まで表面流の影響が及んでいることがわかる。

次に、Prandtlの混合距離の仮定(式-3)に基づき、実測値から混合距離の分布を求めたのが図-8である。これより、混合距離は境界面で極小値を取り、植生層内・表面流に向かうにつれて、増加していることわかる。これは、井上¹⁾、室田²⁾らの求めたものとは異なっており注目される。混合距離が境界面で非0の値を有しているため、岩垣³⁾にならい表面流の混合距離の分布を式-4の様に定める。同式及びReynolds応力の直線分布から、式-5で与えられる平均流速分布を得る。図-9は実測値と今回求めた平均流速分布式との対応であり良好な一致が認められ、式-4の仮定が妥当であったことがわかる。

最後に、抵抗則について評価する。まず、表面流と植生層内流れの相互作用の結果誘起された流速

の代表値である境界面流速(uslip)について図-10に示す。同図より、本実験範囲では(uslip-US)/u_*はほぼ一定(約3)であることがわかる。次に、式-2及び式-5の平均流速分布を積分して、摩擦損失係数(f,t)を求めた。このf,tと実測値の対応を示したのが、図-11である。同図よりh/kが小さい程、摩擦損失係数が大きいすなわち、植生の影響が大きいことがわかる。

4. おわりに 本研究により、今回用いたようなrigidな植生を有する流れ場は、植生境界面に特徴づけられる様なせん断乱流場となり、それは境界面で非0の値を持つ混合距離の仮定により流れ場が説明でき、混合距離は境界面から離れるにつれて植生層内でも表面流でも増加すること、抵抗は水深が浅い程植生の影響が大きいことが見出された。

$$\begin{aligned} -u_*'v_*' &= u_*'^2 \exp(\alpha y) \quad (1) \\ u(y)-US &= (uslip-US) \exp(\beta y) \quad (2) \\ \tau &= \rho k^2 \left(\frac{du}{dy} \right)^2 \quad (3) \\ \lambda &= (\lambda_0 + \kappa y) \sqrt{1-y/h} \quad (4) \\ \frac{u}{u_*} &= \frac{1}{\kappa} \ln \left(\frac{Y}{k} + \frac{\lambda_0}{\kappa k} \right) + C \quad (5) \end{aligned}$$

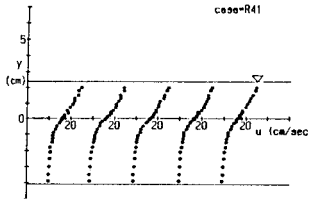


図-1 平均流速分布

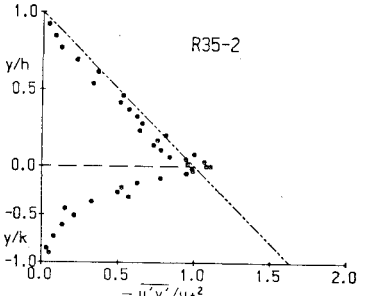


図-2 Reynolds応力分布

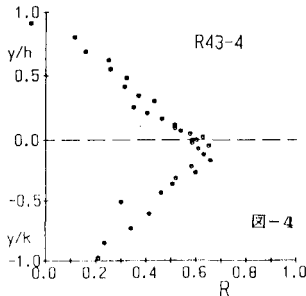


図-3 相関係数の分布

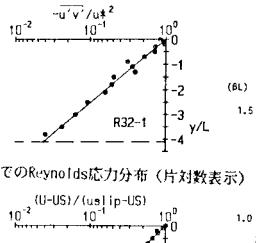


図-4 植生層内でのReynolds応力分布 (片対数表示)

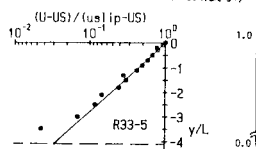


図-5 植生層内での平均流速分布 (片対数表示)

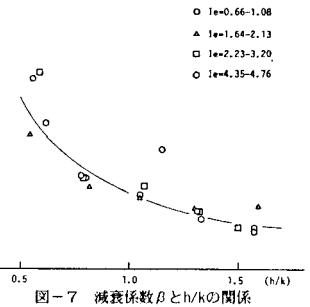


図-7 減衰係数 β とh/kの関係

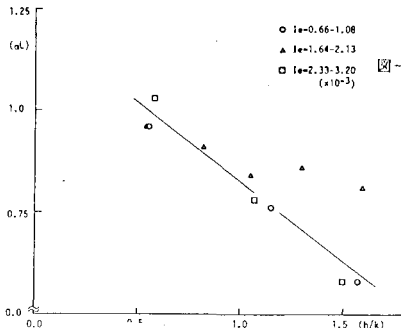


図-6 減衰係数 α とh/kの関係

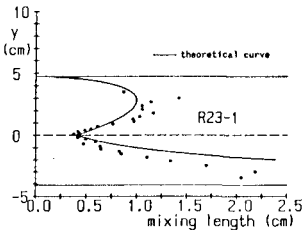


図-8 混合距離の分布

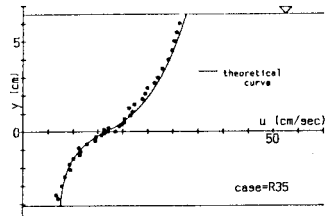


図-9 平均流速分布 (実測値と計算値の対応)

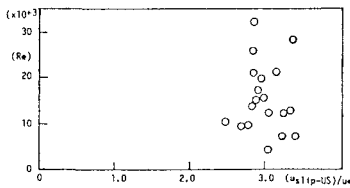


図-10 uslipとh/kの関係

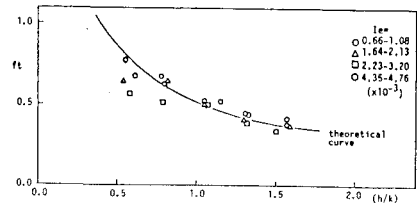


図-11 摩擦損失係数とh/kの関係

参考文献

- 1) Inoue E.: J. Met. Soc. Japan. vol. 41, No. 16, pp. 317-326, 1963.
- 2) 室田・福原: 第28回水講pp. 225-231, 1984.
- 3) 岩垣雄一: 京都大学学位論文