

柔軟な植生層上の流れについて

金沢大学工学部 正 員 辻本 哲郎
 金沢大学工学部 学生員 ○岡田 敏治
 金沢大学工学部 学生員 長崎 敏範

1. まえがき

近年の河川工法においては“多自然型川づくり”の理念のもと、豊かな自然の保全と再生、美しい風景の保全と創出が重要視されてきた。“多自然型川づくり”において植生は重要な役割を持ち、そのため植生の流れの構造を把握することが必要と考えられてきた。著者らは上記の事に鑑み、これまでに河川における葦などを想定した流れに対して変形、振動する柔軟な植生上の流れの特性について検討を行ってきた¹⁾。今回は柔軟な植生のReynolds応力を検討し、その植生の振動の流れへの効果を考察し流れ構造を把握する。

2. これまでの経緯

著者らはこれまでに柔軟な植生は振動の効果によって植生内が流れ易くなっていることを示した¹⁾。また、Reynolds応力が測定されていないために、Chu-Gelharの考えに従い²⁾、植生を浸透層と考え剛な植生と柔軟な植生とで植生層内のReynolds応力分布が相似であると仮定し、それに実際の流速を指数近似して求めた抗力とReynolds応力の和を求めると、剛な植生は重力項($G(y) = \rho g I_0 (y-h)$)の三角形分布と一致するのに対し、柔軟な植生は三角形分布よりはみ出すという推測が得られた。(これにより、植生が振動することにより流体塊へ付加的にエネルギーを供給していることを示唆した。)今回は実際にReynolds応力を測定し、植生層内の実測Reynolds応力と実測された流速分布から求めた抗力の分布をもとに議論を進めた。

3. Reynolds応力の概略

実験は、長さ12m、幅50cmの勾配可変型直線水路に図1に示すように、OHP透明シートを高さ $k_a=5.0$ cm、幅 $D=0.15$ cmの短冊状に切って柔軟な植生を模擬したモデルを水路幅方向、流下方向ともに $s=2$ cmの格子状に配置した。測定は、水路中央部の植生の間隙において、ホットフィルム流速計を用いて行った(1点当り200Hz、100秒のサンプリング)。実験は路床勾配 $i=0.001\sim 0.004$ 、水深 $H=5$ cm ~ 8 cmの範囲で行った。また、図1にあるように植生頂部の平均レベルを $y=0$ とした。得られた流速分布及びReynolds応力分布は図2に示すように、植生境界面($y=0$)で流速分布は変曲点、Reynolds応力は極大値を持っている。植生層内のReynolds応力分布について、既に剛な植生で提案された式(2)の指数関数近似式を適用すると次のようである(図3)。

$$-\overline{u'v'}/u_* = \exp(\alpha y) \quad (1)$$

但し、 u_* は植生頂部($y=0$)で定義された摩擦速度($u_* = \sqrt{\tau_0/\rho}$)、パラメータ α は影響領域の深さスケールの逆数である。図のように柔軟な植生に関しても式(2)の指数関数近似が可能で、これより得られたパラメータ α を $\alpha\sqrt{k_s}$ で無次元化して h_i/k との関係を調べると(図4)、図には先に得られた剛な植生についての結果¹⁾も併示させたが、 h_i/k が同じであれば剛な植生も柔軟な植生もReynolds応力分布はほぼ同じであることがわかる。すなわち植生のReynolds応力の

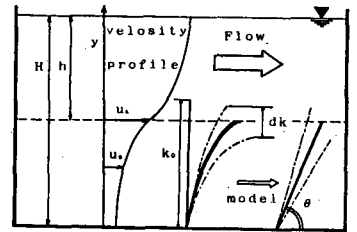


図1 植生を有する流れ場の概念図

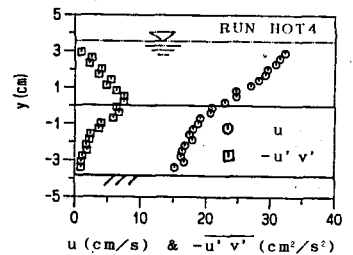


図2 流れの概略図

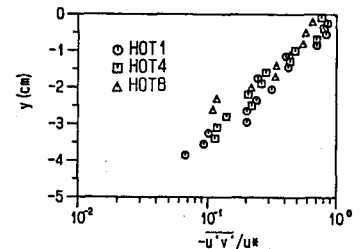


図3 Reynolds応力の指数近似図

発生機構は植生の変形、振動に関連せず植生浸透層の透水係数に依存していることが推測される。先に述べたReynolds応力($\tau(y)$), 抗力の積分値($F(y)$), 重力項($G(y)$)の関係を調べる。ここで、抗力項は植生内流速分布の指数近似式を用いて求めた。剛な植生は図5のようになり、重力項とReynolds応力と抗力項と一致し、式(2)に示すように植生内の流れに関与するReynolds応力が重力項と抗力項の差となることがわかる。

$$\tau(y) = G(y) - F(y) \quad (2)$$

柔軟な植生については植生の変形により抗力が $\sin \theta$ を乗じたものになることを考慮に入れて比較すると(図6), 先に推測したように、Reynolds応力と抗力の積分値の和が重力項より大きくなる結果が得られた。つまり、植生の振動による流れへの効果が予想される。

4. 植生の振動の評価

そこで、3. で得られた図6の結果をもとに植生の揺れの効果を次のように評価する。植生が振動することによって、流れの乱流混合が振動の効果によって増幅され、通常のReynolds応力を生ずる運動量混合に加えて振動による運動量混合の増分が考えられる。そこで、植生の振動による単位体積当りの運動量の増分を $\psi(y)$ とおき、植生内に振動の効果を入れて運動量則を適用すると式(3)のようになる。

$$\frac{d\tau}{dy} - \psi(y) = -\rho g I_0 + \frac{1}{2} \rho C_D u^2 \frac{D}{S^2} - \frac{k}{k_0} \quad (3)$$

但し、 I_0 : エネルギー勾配、 C_D : 抗力係数、 k/k_0 : 植生の傾きを示す。ここで、 $\psi(y)$ は植生内の遅い流体塊と表面流の速い流体塊の混合による運動量の変化を示し、植生境界面でその効果が最大となるので、図7の(a)の概念図のようになると考えられる。その積分値($\Phi(y)$)は図の(b)のようになり植生の振動によるエネルギー損失ということになる。こうした考え

によって図(c)に示すように図(6)における植生層内での計算値のみ出しが説明できる。なお、流速分布を規定する τ としてReynolds応力と Φ を加えた運動量フラックスをとるべきと考えられ、これによって、大きな du/dy が出現することになる。

5. あとがき

今回のReynolds応力の検討により、植生の振動により増加する運動量 $\psi(y)$ の存在を推測した。これからは $\psi(y)$ を実際植生の振動特性とどの様に定量評価できるのかを検討していくつもりである。

参考文献

- 1) 岡田、辻本: 柔軟な植生に覆われた路床を持つ開水路流れの特性, 土木学会第46回年報, II-373.
- 2) Chu-Gelhar: Turbulent pipe flow with granular boundaries, M.I.T., Ralph Parsons Lab., Rep., No. 148, 1972.

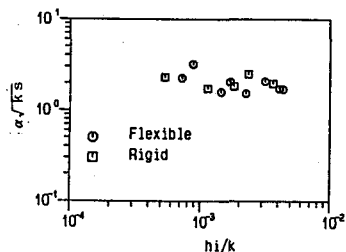


図4 $\alpha\sqrt{ks} - hi/k$ の関係図

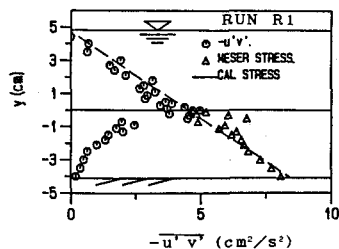


図5 剛な植生のせん断力分布

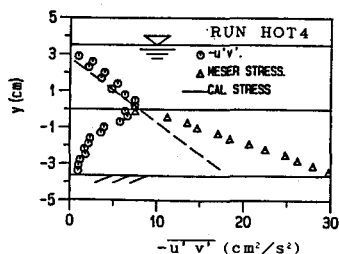


図6 柔軟な植生のせん断力分布

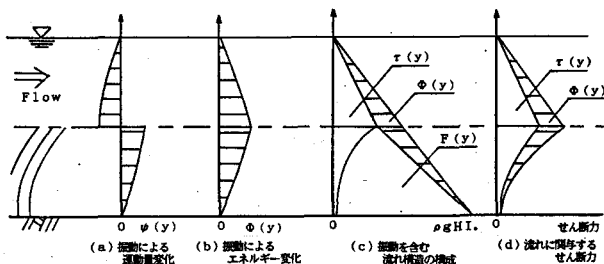


図7 植生の振動のせん断力への影響の概念図