

II-311

柔軟な植生層上の流れに出現する低周波変動

(株)日水コン 正員 岡田敏治  
富山県 紺谷一英  
金沢大学工学部 正員 辻本哲郎

1. まえがき

近年、河川環境に配慮した河川整備が進められるようになってきており、河道内の生態系を保護する植生群落を利用した工法も試みられるようになってきた。こうした背景から河道内の植生の水理を明らかにする意義が高まっている。河道内の植生分布形態や流れのパターンは様々であるが、本研究ではその内の基本事象の1つとして柔軟な直立性植生に覆われた河床上の2次元疑似等流を対象とする。すなわち流れに対して揺動可能な円柱群で模擬された直立性植生層を配置した水路での水理実験の結果と、既に得られている剛な直立性植生層上の流れ特性<sup>1)</sup>との比較検討から、植生の揺動が流れ場に及ぼす影響を検討した。

2. 実験概要

実験は幅40cm、長さ12mの勾配可変鋼製水路に、直径(D)0.062cm、長さ(K<sub>0</sub>)6.5cmの釣り糸を中心間隔(s)1cmの正格子状に一本ずつ(単位体積当たりの遮蔽面積 $\lambda = D/s^2 = 0.0062\text{cm}^{-1}$ )植えた柔軟な疑似植生層を設置して行った。模擬植生の先端に植生の低周波の揺動を促進する目的で稲穂をイメージした直径3mm、質量0.0047gのビーズを取り付けた(図1)。流速分布の測定には直径3mmの小型プロペラ流速計(篠塚製作所)による1次元測定と小型電磁流速計(KENEK)による2次元同時測定を行った(20Hz, 1024個のサンプリング)。得られたデータに必要な統計処理を施した。水理条件は路床勾配(i<sub>b</sub>)0.5/1000~11/1000, 相対水深(H/K, H:全水深, K:変形後の植生高さ)0.5~2の範囲とした

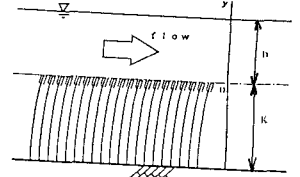


図1 疑似植生モデル概観図

疑似植生層の性質としては、透水性、変形性、振動性の3つが挙げられるが、透水性に関しては透水試験(H/K<1)から抗力係数C<sub>D</sub>が図2のように得られ、これと $\lambda$ との積C<sub>D</sub> $\lambda$ を透水性の指標とする。変形性、振動性についてはそれぞれ植生頂部の流速(u<sub>K</sub>)に対するK及び振動幅dkを測定して図3に示す。図4に得られた流速分布とReynolds応力分布の測定例を示すが、剛な植生層上の流れと同様に植生境界面で特徴付けられる場であることが確認される。

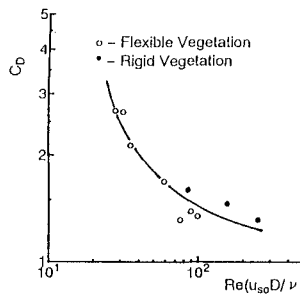


図2 植生モデルの抗力係数

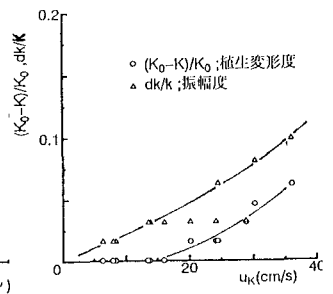


図3 植生モデルの変形・振動度

3. 流れ構造に関する研究

流れ場が植生境界でのせん断で特徴付けられ、変形、揺動しない剛な植生層を有する流れと同様に柔軟な植生層内での流速分布、Reynolds応力分布を次式のように近似できる。

$$\frac{u(y) - u_s}{(u_K - u_s)} = \exp(\beta y) \quad (1)$$

$$\frac{-\overline{u'v'}(y)}{-\overline{u'v'}(0)} = \exp(\alpha y) \quad (2)$$

ここに、 $\alpha, \beta$ は、運動量、流速の植生層内への染み込み深さの逆数に当たるパラメー

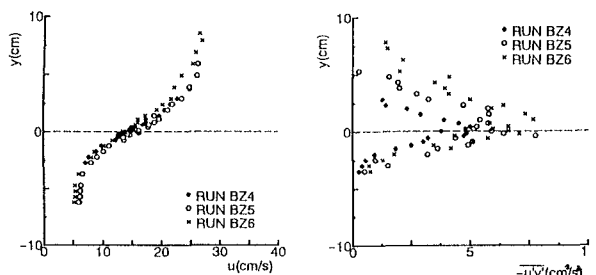


図4 平均流速, Reynolds応力の測定例

タである。図5, 6より本実験においても上式が成立することがわかる。この $\alpha$ ,  $\beta$ を剛な植生の実験結果と併示したのが図7, 8である。図より,  $\alpha$ は同様な傾向にあるが,  $\beta$ は流勢(パラメータ $hI/K$ で表現される)の増加に対し植生揺動が活発になると減少傾向になることが推察される。

柔軟な植生層上の流れ(表面流)について最大流速からの欠速度表示したのが図9で, 図中の直線は式(3)

$$\frac{u_{max} - u(y)}{u_{*K}} = -\ln \frac{y + l_0/\kappa}{\delta + l_0/\kappa} \quad (3)$$

を表す。ここで,  $u_{*K} (= \sqrt{ghI_0})$ : 植生頂部での摩擦速度,  $l_0$ : 植生頂部での混合距離,  $\kappa$ : カルマン係数,  $u_{max}$ ,  $\delta$ : 最大流速及びその発生点である。図の様に柔軟な植生の表面流は対数則に従わない。このように, 植生層内, 表面流ともにその流れの構造が剛な植生とは異なり歪められている。剛な植生では, 三角形分布するせん断応力が表面流では全てReynolds応力, 植生層内ではそれと形状抵抗で受け持たれる。柔軟な植生ではReynolds応力と抗力による応力の和が図10に示すように植生境界を中心に三角形分布から外れており, 付加応力による運動量輸送が考えられる。この付加応力の発生原因としては roughness sublayer でも指摘された組織渦の存在が考えられる。Reynolds応力が欠損することから組織渦の流下方向, 鉛直方向の変動成分が同位相であり (Reynolds応力を生む高周波成分は負の相関を示す), やや斜めに傾斜した形で移流される組織渦をイメージすることができる。組織渦の存在を確認するために実験より得られた流速変動成分( $u, v$ ) のクロススペクトル解析により流速の変動成分の特性について剛な植生と柔軟な植生とで比較を行った。図11はコヒーレンスで植生境界近傍において低周波成分(2Hz程度)が卓越しており組織渦の存在が示唆されている。またフェイズ(位相の余弦をとって示した)から低周波変動が同位相であることが示唆される。この結果は組織渦の存在とその流れへの影響を支持するものである。

#### 4. あとがき

本研究では, 流速変動の周波数の検討から低周波で同位相の変動を抽出し, 流れの構造に関与する組織渦の存在が想定された。今後は, 画像解析による植生挙動と流速変動の同時計測, 相互相関解析から組織渦の発生, 混合機構についても検討する予定である。

参考文献: 1) 清水 辻本 中川 北村: 直立性植生を伴う流れ場の構造に関する実験的研究, 土木学会論文集, 4 38/11-17, pp31-40, 1191

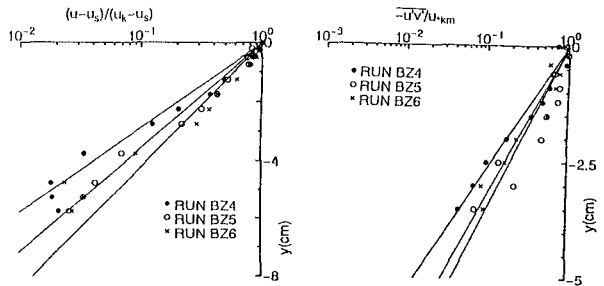


図5 植生層内流速分布 図6 植生層内Reynolds応力分布

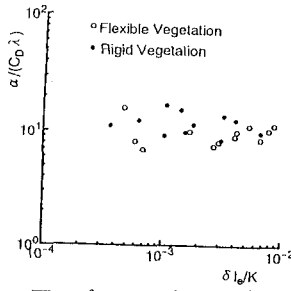


図7 パラメータ $\alpha$ の値

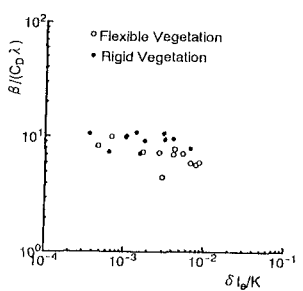


図8 パラメータ $\beta$ の値

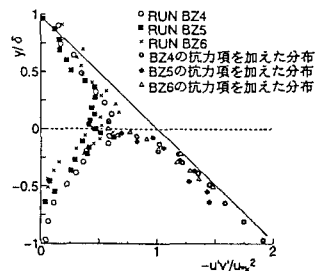
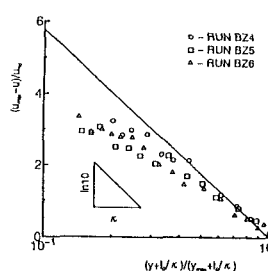


図9 表面流の欠速度表示 図10 せん断応力の各成分への寄与

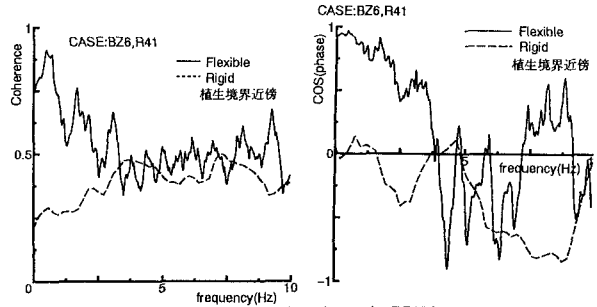


図11 流速変動の相互相関図