

植生層を伴う流れに関する風洞実験と水路実験

金沢大学工学部 正 員 辻本哲郎

金沢大学工学部 学生員○長崎敏範

1. まえがき 河川に親水という機能を求めていくにあたって、植生が重要な鍵となっている。そのためには植生を伴う流れを水理学的に解明することが必須である。本研究では路床が全幅均質な植生層に覆われ、植生が直立あるいは揺動している場合の流れ場を、模擬植生を用いた風洞及び水路実験での乱流計測結果によって検討し、揺動する植生を伴う流れの特性を明らかにする。さらに植生の揺動による効果を $k-\epsilon$ モデルによる乱流計算に取り込んでその特徴の説明を試みたものである。

2. 実験の概要 実験に用いた疑似植生は直径0.026cmの塩ビ製モノフィラメントを流下方向に0.16cm、横断方向に0.3cm間隔に配置したもので高さは10cmである。疑似植生の振動特性はビデオ画像から読みとったところ固有振動数は空中で7.5Hz、静水中では減衰が激しいが約0.8Hzであった。

風洞の実験区間は高さ80cm幅80cmで疑似植生を3mにわたり設置し、流速測定はホットフィルム流速計で2成分計測を行った。また揺動の効果抽出するため、疑似植生をスプレーで固めた揺動しないモデルを用いた測定を行った。図1が実験風景である。空気流では植生は揺動はしているが振幅はせいぜい5mm程度で植生高にほとんど変化はない。しかし、図2、3に見られるよう

に揺動状態と固定したものでは流速分布、Reynolds応力共に顕著な変化が見られる。次に同じ疑似植生を水路に設置して実験を行った。水路は幅40cm、水深は18cm程度となっている。流速測定には電磁流速計を用い風洞と同様に2成分計測を行い、また揺動しないモデルによる比較実験も行った。図4が実験風景で空気流の時には見られなかった大きな変形が見られる。穂波と呼ばれるこの現象は乱流構造に大きな影響を与えていることは一目瞭然である。ビデオ画像より読みとった穂波の波速はほぼ植生境界面の流速に等しく、振動周期は全ケースで約0.8Hzであった。水路実験でも風洞実験と同様、図5、6に見られるような植生の揺動の効果がはっきりでている。ちなみに空気と水の密度の比は12:10000であり粘性係数の比は18:1000である。

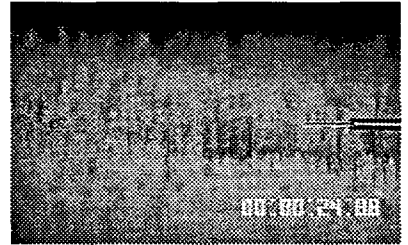


図1 風洞実験風景

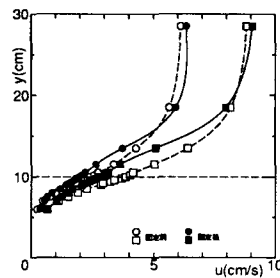


図2 流速分布

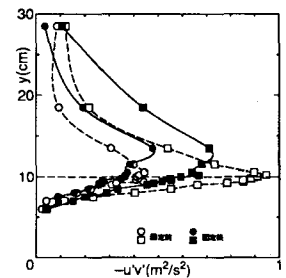


図3 Reynolds応力分布



図4 水路実験風景

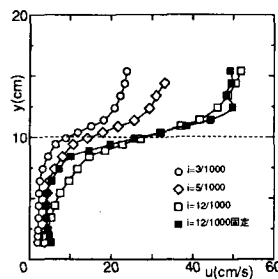


図5 流速分布

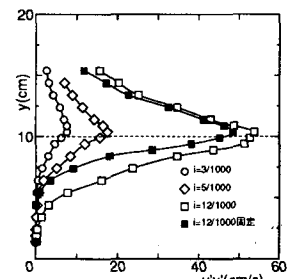


図6 Reynolds応力分布

3. 揺動する植生の特性 直立性の植生を路床に持つ流れ場のReynolds応力分布の特徴は植生境界面までは通常の三角形分布であり、植生層内では境界面から指数関数的に減少していく事が知られている¹⁾。今回の実験から読みとられる揺動する植生に特徴的なことは、植生境界面上方でのReynolds応力が通常の三角形分布から欠損し、最大点が揺動しないケースより下方にくることである。そして植生内深くまで運動量交換が行われている。植生の揺動は植生の变形と流速変動との相互作用によって発生するもので、その発生システムをくまなく乱流場を数値解析するまでには現在至っていない。そこで今回は、穂波の变形形態は全体として $\theta = a \sin(\alpha x + \kappa x)$ で表される回転バネ運動が一定の遅れをもって順次伝わっていくという仮定をした。その一周周期分を図7に示した。ビデオ画像から読みとられる疑似植生の变形の様子はこの变形モデルと良好な一致を示す。植生の傾きに応じた流下方向および鉛直方向の抗力の反力を図7から求め、 $k-\epsilon$ 計算の中に入れて計算を行った²⁾。抗力を与えるメッシュは鉛直方向に200、流下方向に40切ったものを20×40にしているので精度としては十分なものである。実験に用いた疑似植生の密度が $\lambda=0.66$ と非常に高いものであったので、正しい再現計算が出来なかったが、 $\lambda=0.3$ の時の計算結果を図8、9、10に示す。図8はReynolds応力の流下方向の変化である。このように植生の2次元的な密度変化によって

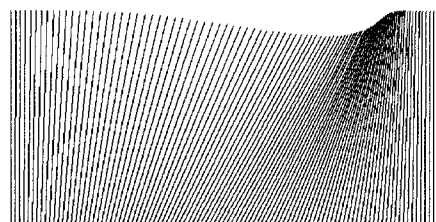


図7 植生変形概念図

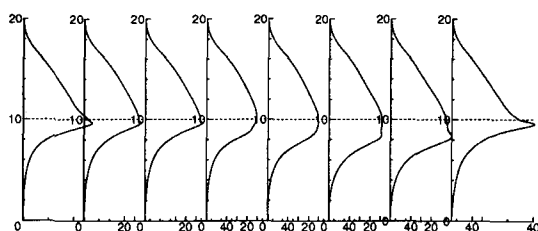


図8 Reynolds応力の流下方向変化

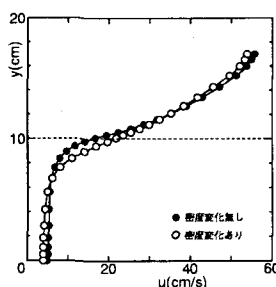


図9 流速分布

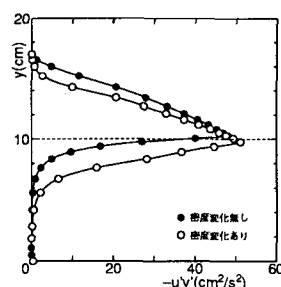


図10 Reynolds応力分布

Reynolds応力が場所によって大きく変わり、図10のように一波長平均したものが実験で計られる時間平均統計量としてのReynolds応力分布に近いものとなる。ただし水路での実験では穂波が起きているときにはかなりの水面変動が起きている様子が見て取られ、水面変動と植生の变形にはかなりの相関があり、水面による効果を考慮しない計算は不十分であるのでさらに検討が必要である。穂波の波速が植生境界面近傍の流速によって決まり、振動周期が植生によって決まるので、植生の变形のパターンも流速場によって変わることが予想される。従って実際の变形パターンをビデオから読み取り、このような相互作用系の検討が今後必要である。

4. あとがき 本研究では空気と水という極端な条件での実験を行ったが、双方でよく似た特徴が抽出された。穂波が発生する際の植生の变形は現実には3次元性を持つものなので特徴をつかむのは難しいが、流速変動、水面変動との相関を明らかにし、さらに詳細な乱流構造の解明につとめたい。

参考文献: 1) 清水・辻本・中川・北村: 直立性植生層を伴う流れ場に関する実験的研究, 土木学会論文集, 447/II-19, 1991,
2) 清水・辻本・中川: 直立性植生層を伴う流れ場の数値計算に関する研究, 土木学会論文集, 447/II-19, 1992.