

剛な植生モデル内の底面流速分布と底面粗度境界層に関する考察

名城大学 正会員 溝口 敦子
建設技術研究所 正会員 ○水野 寛太

1. はじめに

河川における植生の侵入が顕在化し、これまでに植生周辺の流れに関する様々な研究が行われてきた(例えば¹⁾). 併せて植生の消長に関する研究なども実施されてきたものの、いまだに河川整備における植生管理に関する課題は多数残っている. こうした中、解析技術や計算機性能の進展を受け河川整備にも平面二次元河床変動解析が用いられるようになり、植生域の変動予測などにも適用されつつある. ただし、平面二次元河床変動計算における植生域内への土砂の堆積量等の再現性は低く、未だ改善の余地がある. これについて、著者らは、植生域内の掃流力の算定方法に問題があると考え、剛な植生モデルを用い作成した植生域内において、底面付近を中心に植生域内の流速分布を丁寧に調べる研究を行ってきた. ここでは、その研究の一環としてPIVを用いて調べた植生域内の流れ構造を示し、考察する.

2. 実験概要

本研究では単純な場を想定するため剛な植生モデルとして直径3mmの亚克力製円柱を用いた. この植生モデルを図1のような千鳥格子で配置させることで植生域を作成し、幅0.2m、長さ10mの可変勾配水路に5mの範囲で設置した. 実験水路には、河床材料として三河珪砂3号(平均粒径2.1mm程度)または4号(平均粒径0.88mm程度)を植生域も含め敷均した. なお、実験時には植生モデル内で等流状態となるように下流端の堰の高さを調節し、植生域内が縦断方向に一定の水位であることを確認してからすべての計測を行った.

実験では、流量と水深の把握とともに図1に示すPIVシステムを用いて流速分布の計測を行った. なお、PIVによる流速計測の精度を確保するため、プロペラ流速計でも流速分布を計測することとした.

3. 底面摩擦の存在に関する検討

植生域内の力のつり合いを考えると、流体塊の重量の流下方向成分は植生モデルから受ける抗力と底面粗度による摩擦抵抗の和と等価になるはずである. ただし、既往の研究から、底面摩擦抵抗はほとんど無視できるとされ、植生域内は式(1)であらわされる固有浸透流速 U_s となることが知られている.

$$U_s = \frac{Q}{Bh} = \sqrt{\frac{2gI_b}{C_D\lambda}} \quad (1)$$

ここに、 Q : 流量, B : 水路幅, g : 重力加速度, I_b : 水路勾配, C_D : 植生の抗力係数, $\lambda(=N_0D)$: 植生の密生度(単位体積あたりの植生による遮蔽面積, D : 植生の直径, N_0 : 単位面積あたりの本数)である.

本研究で用いた設定で流量と水深の関係を調べたところ、図2のようになった. この図より一見既往の知見に従い流量と水深はほぼ比例しているが、近似曲線を描くと原点を通らないことがわかる. これはまさに底面摩擦力の存在を示す結果となっており、後述する底面粗度境界層の存在を示唆する結果となった.

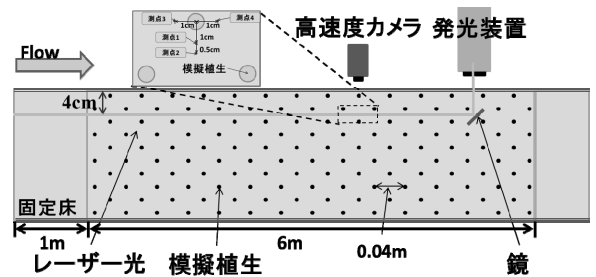


図1 実験装置概要と計測位置図

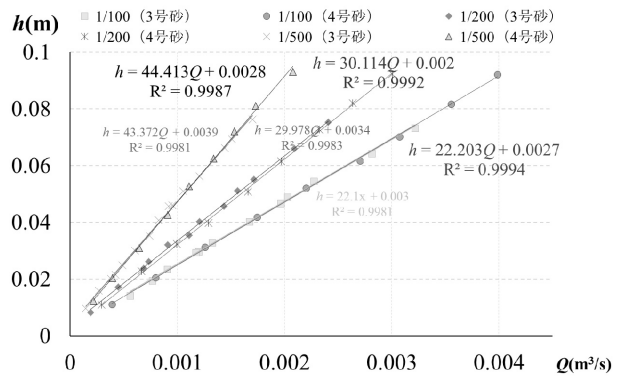


図2 水位～流量関係図

キーワード 植生水利, 流速分布, PIV 測定

連絡先 〒468-8502 愛知県名古屋市天白区塩釜口1-501 (学)名城大学理工学部 TEL052-832-1151

4. 流速分布の特徴

(1) 空間的な流速分布の特徴

実験では図1のように計測断面を一断面に限定しPIV計測を実施した。ただし、別途、空間的なばらつきの特徴や計測断面の特徴を把握するために、プロペラ流速計での計測や計測断面をずらしたPIVによる計測を実施し代表断面の特徴を把握した。

まず、図1に示した測点でプロペラ流速計を用いて計測した流速の鉛直分布を図3に示す。この図からもわかるように植生モデルの前後の流速は周囲の流速よりも小さな値を示し、流速分布の傾向も異なるが、他の点と同様に底面付近に流速が変化する領域が存在することがわかる。次に、図4にレーザーシート挿入位置を変化させPIVで計測した縦断面平均流速分布を示すと、植生モデル間の中央が一番速い流速が出て植生モデルに近づくほど遅くなるが、流速分布の特徴はおおよそ同じであることが確認できる。この結果を踏まえ、本実験では計測が比較的容易な壁面から4cmの断面にレーザーシートを挿入し計測を実施することとした。

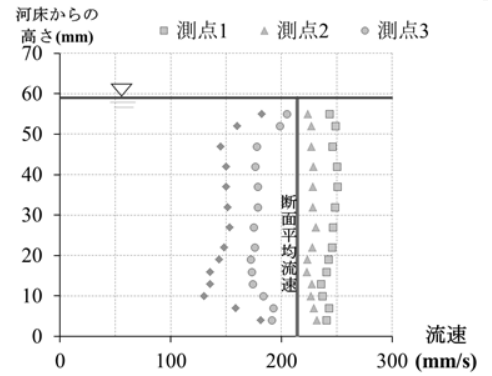


図3 各測点における流速鉛直分布 (河床材料粒径 2.11mm, 河床勾配 1/100)

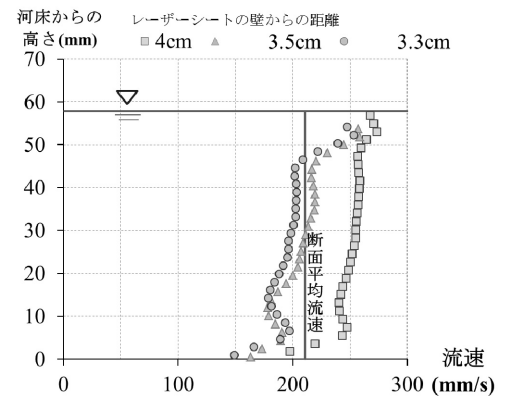


図4 各側線における平均流速分布 (河床材料粒径 2.11mm, 河床勾配 1/100)

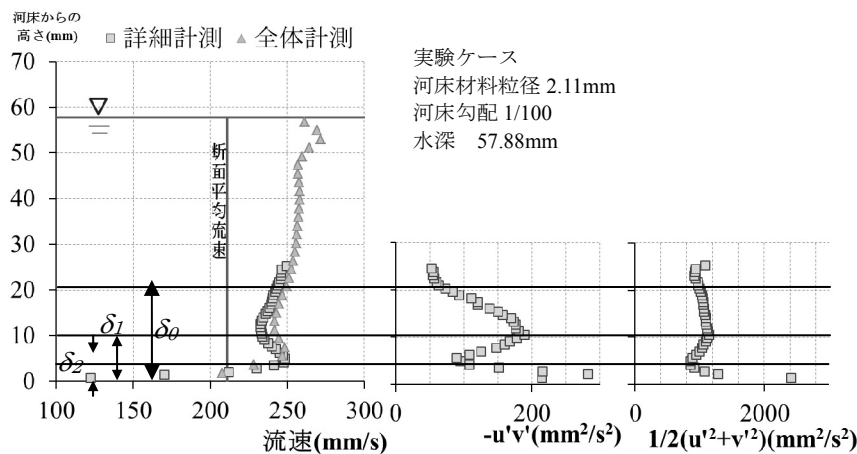


図5 流速分布と底面付近のレイノルズ応力と乱流エネルギー分布

(2) 流速分布およびレイノルズ応力分布の特徴

PIVによる計測は、勾配 1/100, 1/200, 1/500 で水深を 3cm および 5 cm 程度に限定し行った。その結果から、従来の研究通り植生域内の流速は鉛直方向に一定になる領域が存在することが確認された。しかし、図から河床近傍でほぼ直線的に流速が変化する底面粗度境界層の存在と、底面粗度境界層と植生モデルによって支配されている領域の間に速度が低い場所が存在する遷移領域が存在することがわかる。また、図5の例に示すように、併せてレイノルズ応力と乱流エネルギーについて調べてみると、底面粗度境界層上部ではレイノルズ応力、乱流エネルギーともいったん減少してから河床面に向かって増加する傾向が見られた。

上記の実験結果を整理し、各ケースでおおよそその底面粗度境界層厚と遷移領域厚について調べた。結果として、底面粗度境界層は水深に関係なく決定されること、粗度および勾配によって変化することが明確になった。勾配は上層の固有浸透流速を変化させるため、境界層厚は粗度と固有浸透流速の関係で決定されると考えられる。これに対し、底面粗度境界層厚と遷移領域厚の和はおおよそ 20mm 程度で、特に系統的な変化が見られなかった、つまり、実験で変えていない植生モデルの間隔等の条件で決まっている可能性が高いと考えられる。

5. おわりに 本実験により剛な植生モデル内の底面付近の流速分布の特徴が明らかになった。今後は、底面粗度境界層に着目し、底面摩擦速度を決めるための概念モデルの作成を検討する予定である。

参考文献 1) 清水ら：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 No.447/II-19, pp. 35-44, 1992.