

徳島県 正会員 ○ 三好 学
 徳島大学工学部 正会員 岡部 健士
 徳島大学大学院 学生員 和久田 敦志

1. はじめに

吉野川角ノ浦地区では藩政時代に河道に沿って竹林を植樹し洪水を抑止してきた。しかし今日では竹材の需要の低下に伴い放置林が増加し、水害防備林としての役割を喪失している。竹林の高密度化・繁茂面積の増加は、水位上昇による堤防の危険度の上昇、安全に流下できる洪水流量の減少などの原因となり、治水安全度の低下が懸念されている。

このような地区の洪水対策を講じる際には、樹木群落が洪水流に及ぼす影響を可能な限り正確に評価しておくことが重要である。そこで本研究では、樹木群落を伴う二次元浅水流に対する実用的数値計算モデルを構築し、実験結果の再現計算への適用を通じて、その妥当性を検討する。

2. 数値計算法

2.1 基礎式

本研究の数値計算に用いた基礎方程式を式(1)～(3)に示す。ここに、 x, y : 平面座標, t : 時間, $u, v = x, y$ 方向の流速, $M, N = x, y$ 方向流量フラックス, H : 水位, h : 水深, ρ : 水の密度, g : 重力加速度, $\tau_{xbed}, \tau_{ybed} = x, y$ 方向河床せん断力, u_{bs}, v_{bs} : 河床近傍流速, u_* : 摩擦速度, r : 流線の曲率半径, N_* : 係数, $\tau_{xx}, \tau_{yy}, \tau_{yx}, \tau_{xy}$: 乱流応力, k : 乱流エネルギー, ν_t : 渦動粘性係数である。

底面摩擦項では二次流を考慮している。本来は三次元で評価すべきであるが、水深平均流速の流線方向に直交する河床近傍流速を簡易的に Englund の式を用い式(4-a)のように表す。また、水深平均流速の流線方向の河床近傍流速は、対数則を用いて相当粗度高さでの流速と仮定し式(4-b)とする。

水平渦粘性項において平面的な速度分布の差によって生じる乱流せん断応力を考慮し、式(5-

a)～(5-c)のように表される。 ν_t, k を本モデルでは簡易的に α, β を定数として式(6-a)(6-b)と表すものとする。

2.2 離散化

平面二次元で行い、差分法を用いて基礎式を離散化した。計算格子はデカルト座標系における定型直交格子を用いた。変数配置は、圧力振動を抑えることのできるスタッガード配置を用いた。この格子は、スカラー定義点をメッシュ中心にとり、流速の定義点をこれよりそれぞれの方向へ半格子分だけずらして定義するものである。また、移流項には一次精度の風上差分、その他の空間微分項については、二次精度の中心差分を用いた。時間進行については、陽形式の leap-frog 法を用いた。

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial M}{\partial x} + \frac{\partial N}{\partial y} = 0 \quad (1)$$

$$\frac{\partial M}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} Mu + \frac{\partial}{\partial y} Mv = -gh \frac{\partial H}{\partial x} - \frac{\tau_{bedx}}{\rho} + \frac{\partial}{\partial x} \left(h \frac{\tau_{xx}}{\rho} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(h \frac{\tau_{yx}}{\rho} \right) - F_x \quad (2)$$

$$\frac{\partial N}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} Nu + \frac{\partial}{\partial y} Nv = -gh \frac{\partial H}{\partial y} - \frac{\tau_{bedy}}{\rho} + \frac{\partial}{\partial y} \left(h \frac{\tau_{yy}}{\rho} \right) + \frac{\partial}{\partial x} \left(h \frac{\tau_{xy}}{\rho} \right) - F_y \quad (3)$$

$$v_{bs} = -N_* \frac{u_* h}{r} \quad (4-a) \quad u_{bs} = 8.5u_* \quad (4-b)$$

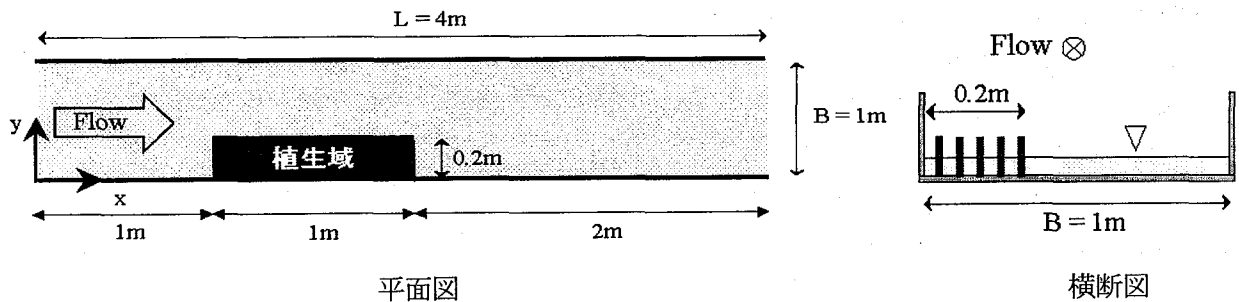
$$\frac{\tau_{xx}}{\rho} = \nu_t \left(2 \frac{\partial u}{\partial x} \right) - \frac{2}{3} k \quad (5-a) \quad \nu_t = \alpha h \sqrt{u^2 + v^2} \quad (6-a)$$

$$\frac{\tau_{yy}}{\rho} = \nu_t \left(2 \frac{\partial v}{\partial y} \right) - \frac{2}{3} k \quad (5-b) \quad k = \beta (u^2 + v^2) \quad (6-b)$$

$$\frac{\tau_{xy}}{\rho} = \frac{\tau_{yx}}{\rho} = \nu_t \left(\frac{\partial v}{\partial x} + \frac{\partial u}{\partial y} \right) \quad (5-c)$$

3. 水理実験

実験には可変幅多目的水路を使用し、モデル図を下に示す。水理条件は、長さ 4.0m、川幅 1.0m、河床勾配 1/1000、流量 $7.0 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$ 、マンニングの粗度係数 $n = 0.013$ 、底面の相当粗度高さ $k_s = 0.051$ の固定床直線矩形河道である。また、右岸側に幅 0.2m 長さ 1m の植生域を設けた。この植生域に直径 2mm 長さ 5cm の竹ひごを 2cm 間隔で配置した。流速計測は PIV 解析とピトー管で行い。PIV 解析の計測ピッチは、植生領域の上流側 0.4m から x 方向に 0.2m ピッチで 10 断面、 $y = 0.0 \sim 0.4\text{m}$ 区間では 2cm ピッチで、 $y = 0.4 \sim 0.6\text{m}$ 区間では 5cm ピッチで計測した。ピトー管は $x = 0.6, 1.25, 1.75, 2.4\text{m}$ の 4 断面を、 $y = 0.0 \sim 0.2\text{m}$ 区間では 2cm ピッチで $y = 0.2 \sim 0.5\text{m}$ 区間では 5cm ピッチで計測した。



4. モデルの同定

本実験で用いた竹ひごの抗力係数は 1.2 程度と考えられる。しかし、本数値解析モデルの植生項は鉛直成分の流速分布が平均流速で同様であると考えている。そこで水深を鉛直方向に 20 分割し、各区間の流速を式(7)より求め、流速の二乗を数値積分したもの(8-a)と平均流速 $\bar{v}$ の二乗に水深をかけたもの(8-b)を比較すると、1.39 倍大きくなった。そこで 1.2 を 1.39 倍した 1.7 を抗力係数とした。

$$\frac{v(z)}{v_*} = \frac{1}{\kappa} \log_e \frac{z}{k_s} + 8.5 \quad (7)$$

$$\int_0^h v(z)^2 dz = \sum_{k=1}^{20} v(z)^2 \Delta z = 0.161 \quad (8-a)$$

$$(\bar{v})^2 h = \left\{ v_* \left(\frac{1}{\kappa} \log_e \frac{h}{k_s} + 6.0 \right) \right\}^2 h = 0.116 \quad (8-b)$$

5. 結果

数値解析計算結果と PIV 解析を比較するため、 x, y 方向に流速を分解し、表面流速は減少率を掛け平均流速に変換したものを下図に示す。植生領域内及びその下流側では壁面近傍で流速が大きくなる結果が確認された。これは壁面境界上に竹ひごを設置しなかったため、壁面に接する格子内の竹ひご数が植生領域中心部の 1/2 になった。それにより植生抵抗が小さくなったと考えられる。

