

河道内樹木群の鉛直構造と平面配置が通水能力に及ぼす影響に関する2次元数値解析

宇都宮大学大学院 学生会員 川口 剛
 宇都宮大学大学院 正会員 池田裕一

1. はじめに

これまで河道内樹木群を対象とした研究が多数行われているが、高木の鉛直構造(図-1参照)を考慮したものは未だに少ない。現在の解析手法では、樹木群の流水抵抗を一つの値で表すのみで、特に中小河川において通水能力を適切に評価できない。

そこで本研究では、2次元浅水流方程式に高木の鉛直構造の影響を近似的に組み込み数値解析を行い、高木群落の抵抗特性や配置が河道の通水能力に与える影響を検討した。

2. 基礎方程式

流れの基礎式は、平面2次元流れの連続式と運動方程式である。

<連続式>

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

<運動方程式>

$$\frac{\partial M}{\partial t} + \frac{\partial uM}{\partial x} + \frac{\partial vM}{\partial y} = -gh \frac{\partial z_s}{\partial x} - \frac{\tau_{bx}}{\rho} + \frac{\partial}{\partial x}(-\overline{u'^2}h) + \frac{\partial}{\partial y}(-\overline{u'v}h) - F_{vx} \quad (2)$$

$$\frac{\partial N}{\partial t} + \frac{\partial uN}{\partial x} + \frac{\partial vN}{\partial y} = -gh \frac{\partial z_s}{\partial y} - \frac{\tau_{by}}{\rho} + \frac{\partial}{\partial x}(-\overline{u'v}h) + \frac{\partial}{\partial y}(-\overline{v'^2}h) - F_{vy} \quad (3)$$

ここで、せん断応力および植生抵抗は水深によってそれぞれ、次のように場合分けされる。

・ $h < h_1$ の場合

$$\tau_{bx} = \frac{\rho g n^2}{h^{1/3}} u \sqrt{u^2 + v^2}, \quad \tau_{by} = \frac{\rho g n^2}{h^{1/3}} v \sqrt{u^2 + v^2}$$

$$F_{vx} = \frac{\sigma}{2} C_d d_1 h u \sqrt{u^2 + v^2}, \quad F_{vy} = \frac{\sigma}{2} C_d d_1 h v \sqrt{u^2 + v^2}$$

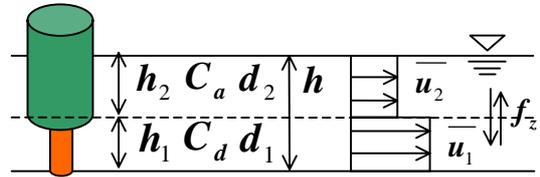


図 1 樹木モデル概略

・ $h > h_1$ の場合

$$\tau_{bx} = \frac{\rho g n^2}{h_1^{1/3}} \phi_1^2 u \sqrt{u^2 + v^2}, \quad \tau_{by} = \frac{\rho g n^2}{h_1^{1/3}} \phi_1^2 v \sqrt{u^2 + v^2}$$

$$F_{vx} = \frac{\sigma}{2} \{C_d d_1 h_1 \phi_1^2 + C_a d_2 (h - h_1) \phi_2^2\} u \sqrt{u^2 + v^2}$$

$$F_{vy} = \frac{\sigma}{2} \{C_d d_1 h_1 \phi_1^2 + C_a d_2 (h - h_1) \phi_2^2\} v \sqrt{u^2 + v^2}$$

h は水深、 h_1 は幹部高さ、 n はマンニングの粗度係数、 u および v は縦断方向流速および横断方向流速、 ϕ は樹木の面積密度、 d_1 および d_2 は幹部および樹冠部直径、 C_d は樹幹部の抵抗係数、 C_a は樹冠部の抵抗係数である。また、 r は鉛直方向流速分布を決定する変数である。

3. 計算方法および計算条件

3.1 計算方法

(1)・(2)・(3)式を一般化座標表示にする。式の離散化には、スタッガードスキームの有限体積法を適用した。また、移流項の差分には一次精度の風上差分を、時間積分にはAdams-Bashforth法を適用した⁽¹⁾。

t は0.002、マンニングの粗度係数は0.032を用いて計算をおこなった。

3.2 計算条件

(1) 計算格子および境界条件

2cm×5cmの格子をx方向に201断面、y方向に11断面を設定した。また、境界条件は上流端流量0.006m³/sと下流端水位0.105mを60秒ごとに与えた。

キーワード 植生、高木、幹、樹冠、抵抗、浅水流方程式、流下能力、通水能力

連絡先 〒32-8585 栃木県宇都宮市陽東7-1-2 宇都宮大学大学院 TEL 028-689-6229

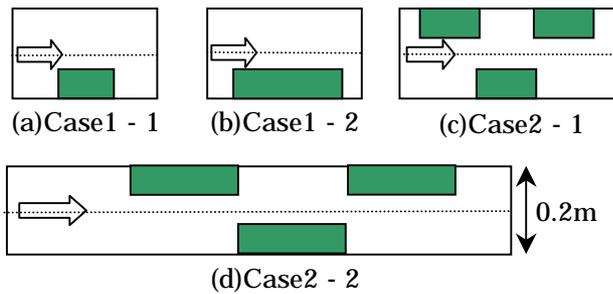


図 - 2 樹木群配置図

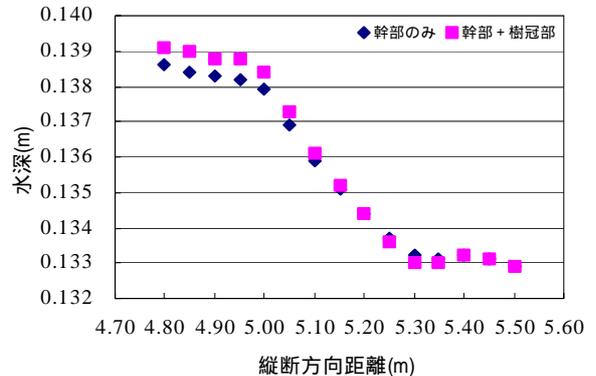
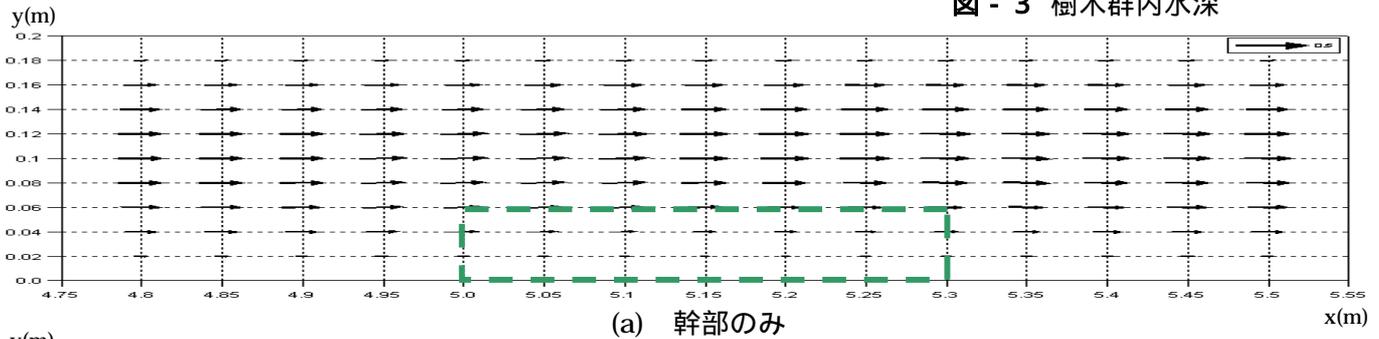
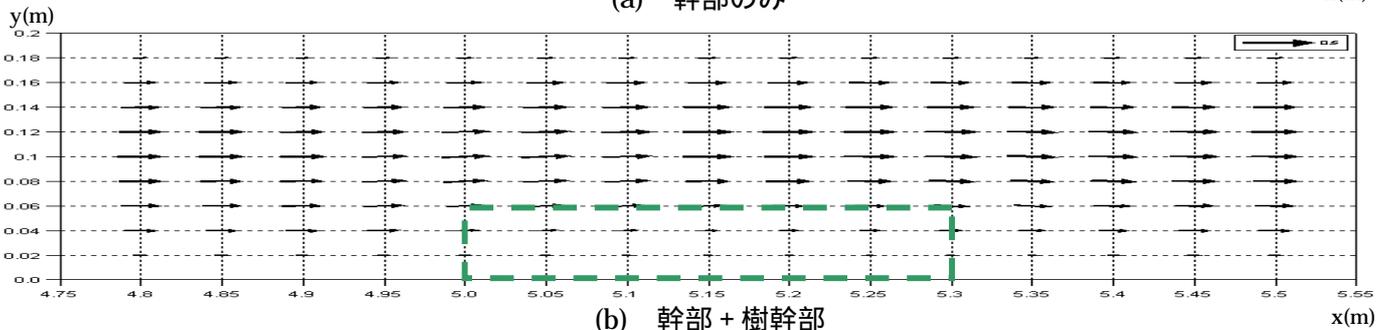


図 - 3 樹木群内水深



(a) 幹部のみ



(b) 幹部 + 樹冠部

図 - 4 流速分布図

(2) 樹木群配置

樹木配置図を図-2に示す。樹木配置は単一樹木群と交互配置樹木群とした。Case1-1(単一配置樹木群)を基本として、Case1-2で交互配置を、Case2-1・Case2-2ではそれぞれ樹木群長を2倍とした。樹木パラメータは、 β は4444、 C_d は1.2、 C_a は1.0を用いて計算をおこなった。

4. 計算結果

図-3に樹木の鉛直構造を考慮したもの(幹部+樹冠部)と考慮していないもの(幹部のみ)の樹木群内水深変化を示す。図より、樹木群前面部において、前者の水深が高くなっていることがわかる。これは、高木の鉛直構造を考慮したことにより、その抵抗が大きくなったためと考えられる。また、そのことにより樹木群内では、幹部の場合に比べて幹部+樹冠部の場合において急激な水深減少が起こっている。

図-4に流速ベクトル図を示す。幹部のみに比べ、

幹部+樹冠部の流速ベクトル図において、樹木群内の流速低減が確認された。また、流速方向の変化においても、幹部のみ考慮した場合よりも、幹+樹冠部を考慮した場合で、顕著であった。

今後は、実河川を想定した計算をしていく予定で、特に河川の湾曲部に植生がある場合において、植生が流況にあたる影響を明らかにしていく予定である。

参考文献

- (1) 長田信寿:一般化座標を用いた平面に次元流れの数値解析,水工学における計算利用の講習会講義集, 61-76,1999
- (2) 福井吉孝:樹木群のある開水路の流れと魚類の生息について,流体力の評価とその応用に関する研究論文集,第3巻, 49-54, 2004
- (3) 福岡捷二・藤田光一:洪水流の横断方向流速差がもたらす付加的抵抗の評価,第33回水理講演会論文集, pp.301-306, 1989.