

湾曲上流部に存在する樹木群が流れ構造に及ぼす影響

名古屋工業大学 学生会員○中居 毅  
名古屋工業大学 成田英二

名古屋工業大学 学生会員 青木健太郎  
名古屋工業大学 正 会 員 富永晃宏

1. はじめに 実際の河川において、樹木群の存在や湾曲部の存在は治水上重要な問題である。今後河川改修をするにあたって、河道に繁茂する樹木群を伐採し、流路を確保するだけでは多自然型川づくりの面から適当ではない。そこで、樹木群の伐採方法や有効利用を考える必要がある。従来筆者らが行ってきた研究から、外岸の湾曲部入り口付近に樹木群がある場合河床の変動が抑制されることが示された<sup>1)</sup>。そこで本研究では樹木群配置や密度を変えて流れ構造の変化を調べ、河床変動抑制に有効な形態について検討した。また、曲線座標系を用いた2次元の数値計算によって主流速分布から流れ構造を検討した。

2. 実験条件及び方法 実験水路は水路幅  $B=90\text{cm}$ 、深さ  $30\text{cm}$ 、全長  $17.2\text{m}$  の長方形断面水路を用いた。湾曲部の中心曲率半径は  $r=270\text{cm}$  で  $r/b=3.0$  であり、流量  $Q=40\text{l/s}$ 、水深  $h=15\text{cm}$  として固定床実験を行った。樹木群模型は直径  $5\text{mm}$  の木材の棒を用い、流下方向、横断方向に  $5\text{cm}$  間隔で格子状に配置し、ケース  $\text{Vd-8}$  のみ格子の中心に一本加えた千鳥格子状配置として密生度を大きくした。上流  $90\text{cm}$  から湾曲角  $\theta=15^\circ$  にかけて樹木群のあるケース  $\text{V-8}$  を基本として、図-1に示すように4通りの配置( $\text{V-81}$ 、 $\text{V-82}$ 、 $\text{Vd-8}$ 、 $\text{Vw-8}$ )を考えた。座標系については図-1に示すとおり、流下方向に  $x$  軸、横断方向に  $y$  軸、鉛直方向に  $z$  軸とする。

3. 実験結果 図-2 は固定床における水深平均流速の横断方向分布である。ケース  $\text{Vd-8}$  では樹木群の密生度が高いため減速がかなり大きく、内岸の流速も大きくなっている。湾曲角  $\theta=15^\circ \sim 30^\circ$  で内岸と外岸の流速差が最大となり、ケース  $\text{Vd-8}$  では非常に大きな差を示している。下流にいくにしたがって内岸側の減速と外岸の加速が大きくなり、下流  $45\text{cm}$  ではケース  $\text{V-8}$  とほぼ同様な分布まで回復している。ケース  $\text{Vw-8}$  では樹木群の幅が広いいため減速域が大きく、せん断層が  $y=30\text{cm}$  付近に見られる。湾曲入り口の外岸側流速は水路中央部付近より大きく、またケース  $\text{V-8}$  に比べても大きくなっている。流下するにしたがい水路中央部では流速が回復しているが、外岸側では流速がほとんど回復しておらず、

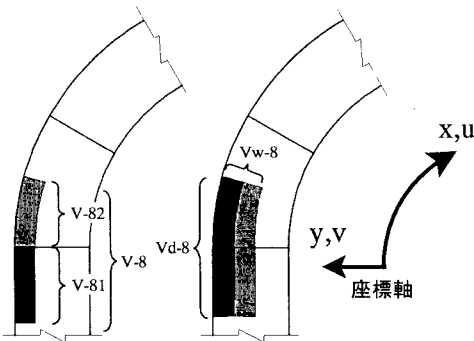


図-1 平面配置図

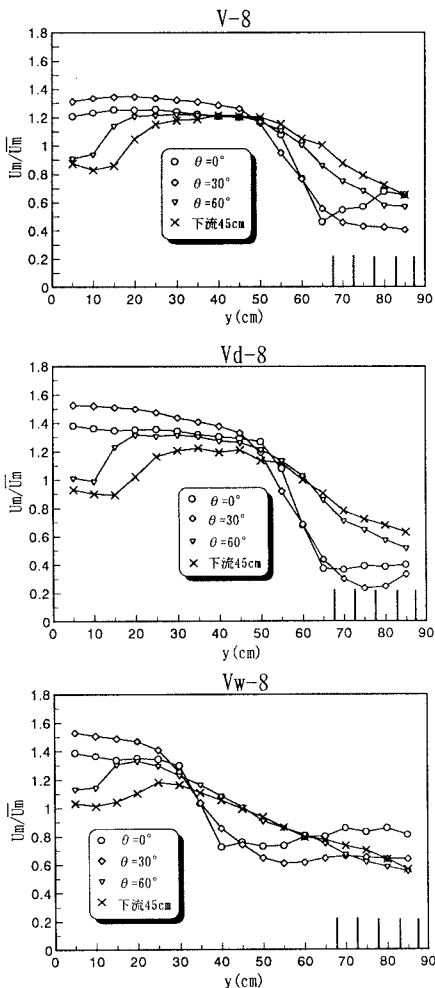


図-2 水深平均流速(実験値)

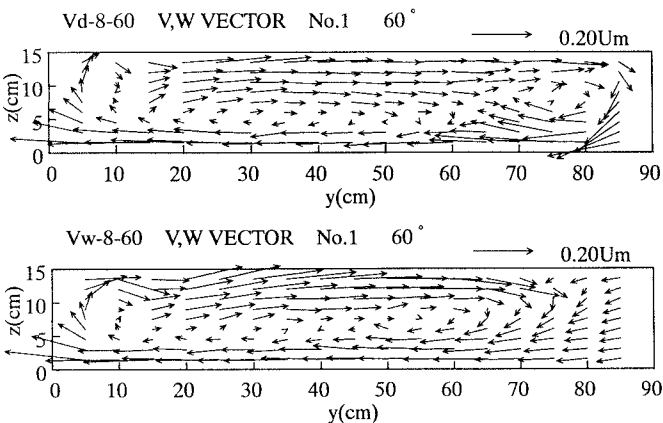


図-3 2次流ベクトル

直線的な分布を示している。各ケースとも下流 45cm の内岸側に大きな減速がみられる。これは、2次流による内岸水面付近の減速が原因している。図-3は湾曲角  $\theta = 60^\circ$  における2次流ベクトルである。ケース Vd-8 では  $y=75\text{cm}$  より外岸側に小さな渦構造が見られ、断面全体で二重渦構造を呈している。外岸壁近傍では大きな下降流が生じており、内岸へ向かう流れが大きくなっていることがわかる。これはケース V-8 とほぼ同様の2次流構造である。ケース Vw-8 では渦構造は  $y=75\text{cm}$  付近までとなっており、外岸壁近傍の2次流がすべて内岸方向への流れとなっている。この内岸方向の流れは主流方向の減速を意味しており、この断面における外岸側の流速の回復を妨げていると考えられる。

#### 4. 樹木群の影響に関する数値シミュレーション

樹木群配置の違いが流れ構造になぜこのような違いをもたらしたのかを数値シミュレーションによって検討した。基礎式として次の曲線座標系における水深平均平面流方程式を用いる<sup>2)</sup>。

$$\frac{R}{R+y} \frac{\partial UU}{\partial x} + \frac{\partial UV}{\partial y} + \frac{2UV}{R+y} = -g \frac{R}{R+y} \frac{\partial H}{\partial x} - \frac{\tau_{bx}}{\rho h} + \frac{1}{\rho} \frac{R}{R+y} \frac{\partial \tau_{xx}}{\partial x} + \frac{1}{\rho} \frac{\partial \tau_{xy}}{\partial y} - F_x - \frac{R}{R+y} \frac{\partial \overline{U'U'}}{\partial x} - \frac{\partial \overline{UV'}}{\partial y} - \frac{2\overline{UV'}}{R+y} \quad (1)$$

$$\frac{R}{R+y} \frac{\partial UV}{\partial x} + \frac{\partial VV}{\partial y} + \frac{(U^2 - V^2)}{R+y} = -g \frac{R}{R+y} \frac{\partial H}{\partial y} - \frac{\tau_{by}}{\rho h} + \frac{1}{\rho} \frac{R}{R+y} \frac{\partial \tau_{xy}}{\partial x} + \frac{1}{\rho} \frac{\partial \tau_{yy}}{\partial y} - F_y - \frac{R}{R+y} \frac{\partial \overline{UV'}}{\partial x} - \frac{\partial \overline{VV'}}{\partial y} - \frac{\overline{U'^2} - \overline{V'^2}}{R+y} \quad (2)$$

$$\frac{R}{R+y} \frac{\partial hU}{\partial x} + \frac{\partial hV}{\partial y} + \frac{hV}{R+y} = 0 \quad (3)$$

$$F_x = \frac{1}{2} C_D \lambda U \sqrt{U^2 + V^2}, F_y = \frac{1}{2} C_D \lambda V \sqrt{U^2 + V^2} \quad (4)$$

ここに、 $R$  は水路内岸の曲率半径であり、 $U, V$  はそれぞれ流下方向  $x$  及び横断方向  $y$  の水深平均流速、 $\tau_{xx}$ 、 $\tau_{xy}$ 、 $\tau_{yy}$  は水深平均レイノルズ応力でありゼロ方程式モデルで与えた。(4)式樹木群の形状抵抗を与える。実験の樹木群密度パラメータ  $\lambda$  は 2 または 4(1/m)とし、抵抗係数は実験値に一致するように  $C_D=1.25$  とした。 $U', V'$  は流速鉛直分布における水深平均流速からのずれを表し、(1)、(2)式の右辺の最後の3項は水深平均に伴う分散項を示している。2次流については、実験より外岸渦の発生が見られなかったため樹木群のないケース R-5 の湾曲渦を全幅に拡大して考慮した<sup>3)</sup>。図-4は実験と同じ樹木群配置で数値計算された固定床における水深平均流速の横断方向分布である。どのケースにおいても実験値とよく似た傾向が示されており、樹木群抵抗力の表現はほぼ妥当であったといえる。どのケースにおいても下流内岸側の流速に減速が現れなかった。これは2次流の運動量輸送を厳密に考慮していないためである。ケース Vd-8 では外岸側の急激な減速がよく再現されているが、外岸壁近傍の流速が小さく計算されている。ケース Vw-8 でも内岸側が過大して計算され、外岸側では河床となり、特に湾曲入り口外岸側で実験値との差が大きくなっている。これは樹木群内の流れの評価が十分でないことによると思われる。

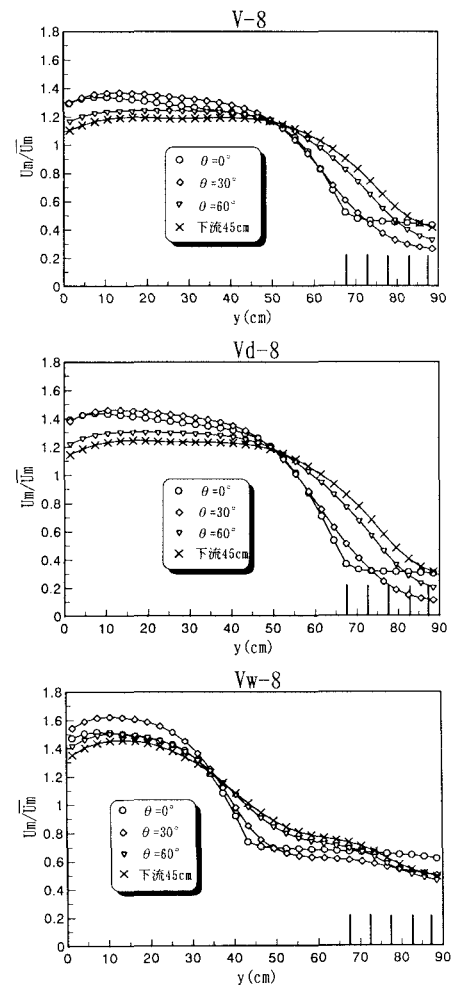


図-4 水深平均流速(計算値)

5. おわりに 今回樹木群の幅や密生度を変化させることによって、流れ構造がどのように変化するかを実験によって明らかになった。2次元の数値解析によって樹木群の幅や密生度が変化したときの流れ構造を予測することが可能となり、実験値の傾向を再現することができた。今後は2次流の運動量輸送を考慮して、さらに詳細に議論する必要がある。

<参考文献> 1) 富永, 木村, 青木: 土木学会中部支部講演概要集 pp.199-200, 2000. 2) Shimizu, Y., Yamaguchi, H. and Itakura, T.: Three-Dimensional Computation of Flow and Bed Deformation, J. Hydraulic Engineering, vol.116, No.9, pp.1090-1108, 1989. 3) 富永, 長尾, 木村: 応用力学論文集 vol.2, pp.637-644, 1999.