

神戸大学大学院 学生員 ○阿河一穂・大地洋平・檜達也・盛岡淳二・木村諒
神戸大学大学院 フェロー会員 道奥康治, 正会員 宮本仁志
明石工業高等専門学校 正会員 神田佳一, 学生員 魚谷拓矢

1. 序論

河道内の樹木繁茂が顕在化し、河川管理上の課題となっている。河道内樹林への流水攪乱頻度を増加させ、省力的に樹林化を抑制する方策を考える。河川の横断形状と樹林を考慮した計算負荷の小さい一次元解析モデルを用いて、様々な流量と〔高水敷切り下げ、樹木間伐〕の条件に対する樹木倒伏率を推定し、樹木管理の適正化方策を考究する。

2. 流れの一次元解析モデル

塩野らによる植生が繁茂した複断面開水路流の一次元解析モデル¹⁾をマンシングの粗度係数 n によって再記述すると式(1)のようになる。

$$\underbrace{\rho g S_0 H}_{\text{重力項}} - \underbrace{\rho \frac{gn^2}{H^{1/3}} u^2 \sqrt{\frac{1}{s^2} + 1}}_{\text{底面せん断力項}} + \underbrace{\frac{\partial}{\partial y} \left\{ \rho \lambda H^2 \left(\frac{gn^2}{H^{1/3}} \right)^{1/2} u \frac{\partial u}{\partial y} \right\}}_{\text{内部せん断力項}} = \underbrace{\frac{\rho C_D \lambda_{veg}}{2} u^2 H}_{\text{流体力項}} \quad (1)$$

ここで、 ρ : 水の密度、 g : 重力加速度、 S_0 : 河床勾配($S_0=\sin\theta$)、 H : 水深、 n : マンシングの粗度係数、 u : 流速の流下方向成分、 $1/s$: 各横断勾配部の横断勾配 (図-1 参照)、 λ : 渦動粘性係数に関する定数($\lambda=0.3$)、 C_D : 樹木の抵抗係数(樹径と密生度の積で表わされる関数)、 λ_{veg} : 樹木密生度である。ただし、樹林帯領域では見かけ流速 u_s とするため、式(1)において間隙率 p (単位面積当たりの樹木の投影面積 A から $P=1-A$) を考慮して $u=u_s/p$ とする($p \doteq 1$)。

3. 解析結果

図-1 に、現地観測サイトである加古川 23.6km 地点の現況と切り下げ後の横断地形を示す。高水敷上には現況とほぼ対応する位置に一樣密生度の樹林帯を設定する。表-1 に解析条件を示す。樹木密生度は $\lambda_{veg}=0.005\sim0.05(\text{m}^{-1})$ (現況: $\lambda_{veg} \doteq 0.01(\text{m}^{-1})$)、流量に関しては $Q=1,740\sim8,400(\text{m}^3/\text{s})$ の範囲を想定する。高水敷上は現地調査をもとに人の背丈ほどの密な草本が繁茂した状態を想定した。また、著者らが開発した平面二次元モデル²⁾では樹林の冠水時に樹林内と樹林上の流れを区別できる二層流モデルであるが、本一次元モデルでは二層流の取り扱いができないため、樹高を無限大に設定して常時非冠水の状態を想定した。

図-2, 3 に切り下げ断面ごと (密生度 $\lambda_{veg}=0.01(\text{m}^{-1})$ の場合)、樹木密生度ごと (現況断面の場合) の流速横断分布をそれぞれ示す。図-2 より、高水敷切り下げによって高水敷上で疎通能力が改善されている。しかし、切り下げ量の増加とともに高水敷領域 (粗度係数: $0.055(\text{m}^{-1/3}\text{s})$) が増加し、水際領域において流速が低減する。このことから、切り下げ後の高水敷管理の重要性が確認される。また、図-3 より密生度の増加とともに樹林帯による流水阻害効果が顕著になることが確認される。ただし、樹林帯内は草本類の侵入が少ないと仮定し、粗度係数を $0.031(\text{m}^{-1/3}\text{s})$ に設定しているため、密生度 $0.01(\text{m}^{-1})$ の場合は流水阻害が顕著でない。

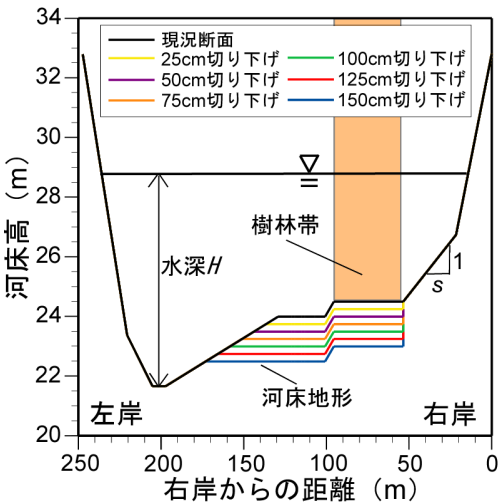


図-1 加古川 23.6km 地点横断地形図

表-1 解析条件

植生条件	密生度 $\lambda_{veg}(\text{m}^{-1})$	0.005~0.05
	樹径 $d(\text{m})$	0.20
	樹高 $h_v(\text{m})$	∞
水理条件	流量 $Q(\text{m}^3/\text{s})$	1,740~8,400
河道条件	河床勾配 S_0	1/800
	マンシングの粗度係数 $n(\text{m}^{-1/3}\text{s})$	低水路:0.028 高水敷:0.055 樹林帯:0.031

図-4~6 はそれぞれ、切り下げ量と流量（密生度 $\lambda_{veg}=0.01(m^{-1})$ の場合）、密生度と流量（現況断面の場合）、切り下げ量と樹木密生度（ $Q=4,900(m^3/s)$ の場合）を両軸にとった平面上に、「倒伏モーメント比 M_v/M_c 」の等値線を示したものである。ここで、倒伏モーメント比とは、樹木一本あたりに作用する流体力の倒伏モーメント M_v と樹木が倒伏する限界モーメント M_c^3 との比として求められ、 $M_v/M_c > 1$ の時、樹木は倒伏すると判定する。図-4, 5 より、高水敷切り下げによる疎通能力の向上や、間伐にともなう樹木一本あたりに作用する流体力の増加により、切り下げ、間伐のいずれに対しても M_v/M_c は増加する。しかし、切り下げ後に樹木が回復し密生度が元に戻った場合や切り下げなしで間伐のみを行った場合には M_v/M_c の増加はそれほどでもなく、 $6300 (m^3/s)$ 程度以上の出水においてのみ $M_v/M_c > 1$ となり樹木が倒伏する。これに対し、切り下げ後に間伐で密生度を抑制した場合には $Q=4,900(m^3/s)$ 程度の流量でも樹木の倒伏が発生する（図-6）。なお、現地調査では切り下げ施工箇所においても多数の稚樹が確認された。このことから、切り下げ後においても栄養繁殖による樹林再生には十分注意し、必要に応じて間伐管理を実施しなければならない。流量の生起確率に基づいて算定される M_v/M_c の期待値 D_E を様々な「切り下げ量、密生度」に対して図-7 に示す。ここで、 D_E は式(2)(3)のように定義される。

$$D_E = \sum_{T=1}^n D(T) \times P(T) \quad , \quad P(T) = \frac{1}{T} - \frac{1}{T+1} \quad (2)(3)$$

ここで、 $D(T)$: 再現期間 T に対応する流量が生起した時の M_v/M_c 、 $P(T)$: 再現期間 T 年の流量規模の生起確率密度である。図-7 から切り下げと間伐によって D_E が増加し、特に間伐の効果は二次関数的に高まることがわかる。これに対し、切り下げ効果の増加は線形的であり、樹木管理における間伐の重要性が確認できる。

4. 結論

本研究では、省力的な河道内樹木管理に資する知見を得るために、一次元解析に基づいて高水敷切り下げや間伐の影響を流速分布や倒伏モーメント比、その期待値から明らかにした。

参考文献

- 1) Koji Shiono 他：Quasi two-dimensional model for straight overbank flows through emergent vegetation on floodplain, Journal of Hydraulic Engineering and Research, vol.45, pp.302-315, 2007.
- 2) 道奥康治・宮本仁志・神田佳一 他：樹林化した河道の流況観測と樹林内外の流況・樹木抗力の解析, 河川技術論文集, 第16巻, pp.437-442, 2010.
- 3) (財)リバーフロント整備センター編：河川における樹木管理の手引き, 山海堂, pp.157, 1999.

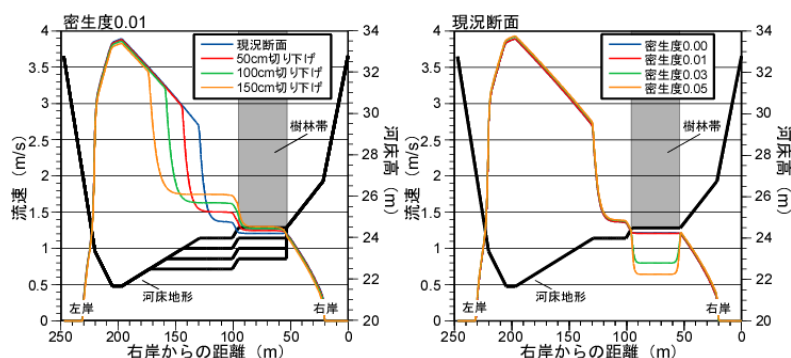


図-2 各切り下げ断面の流速分布 図-3 各密生度の流速分布

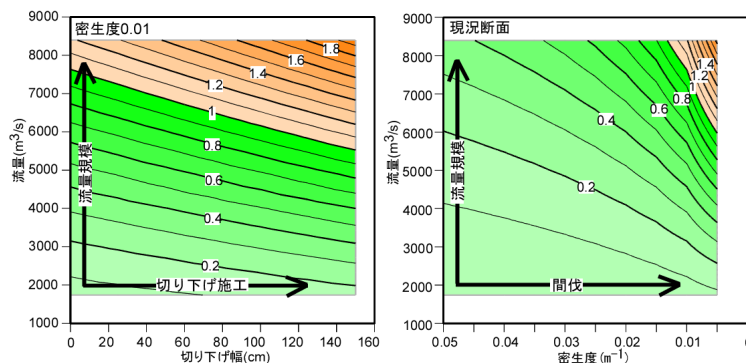


図-4 切り下げの M_v/M_c への影響

図-5 間伐の M_v/M_c への影響

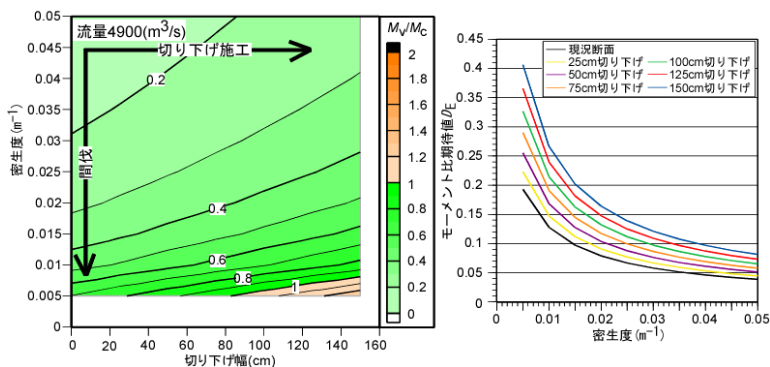


図-6 切り下げ、間伐の M_v/M_c への影響

図-7 M_v/M_c の期待値

図-7 に示す。ここで、 D_E は式(2)(3)のように定義される。