

神戸大学大学院 学生員 ○盛岡淳二・木村諒・阿河一穂・大地洋平・檜達也  
 神戸大学大学院 正会員 宮本仁志, フェロー会員 道奥康治  
 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. はじめに

河道内の樹木は出水時の水位上昇や流木による河川構造物への被害の原因となるため、治水上の問題となる。その一方で、河道内樹林は護岸作用や沿川生態系の創出など良好な河川環境を担う。これら治水・環境機能の双方がバランスした適切かつ省力的な河川管理が近年では重要となってきている。本報では、筆者らが構築した河道内樹林の動態解析モデル<sup>1)</sup>に樹木抵抗を考慮した河川流解析<sup>2)</sup>を組み込むことでモデルの改良を行った。

## 2. 動態予測モデルの改良

図1に時刻 $t$ における樹径 $d$ の樹木分布密度 $n(d,t)$ の概念図を示す。これより、樹木の成長、新規参入、出水インパクトによる倒伏を考慮し、 $n(d,t)$ の経時変化は次式のように定式化される<sup>1)</sup>。

$$\frac{\partial n}{\partial t} = -\frac{\partial(g \cdot n)}{\partial x} + Jd_{\min} - D \cdot n \quad (1)$$

ここで、 $g$ ：樹径 $d$ 毎の平均成長速度、 $Jd_{\min}$ ：稚樹新規参入フラックスである。樹木は、植生観測を実施する加古川に多く繁茂するヤナギ類を対象とする。樹木死亡率 $D$ は倒伏モーメント $M_v$ と限界倒伏モーメント $M_C$ <sup>3)</sup>の比 $\gamma = M_v/M_C$ の関数として、正規分布の累積密度関数を用いて次式のように定義する。

$$D = \int_{-\infty}^{\gamma} \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma^2} \exp\left[-\frac{(y-\mu)^2}{2\sigma^2}\right] dy \quad (2)$$

ここで、 $\mu$ ： $\gamma$ の期待値、 $\sigma$ ： $M_C$ のバラツキを表す標準偏差であり、砂州各部における比高や河床材料などの違いを表現する。倒伏モーメント $M_v$ は樹林部の流速・水深より算出する。前報<sup>1)</sup>では、流量の確率過程モデルから得られる日平均流量時系列よりマニング式を用いて算出したが、樹木抵抗を考慮していないため樹林部の流速が過大評価されていた。そこで本報では、樹木抵抗を陽にモデル化した一次元河川流解析を導入することで樹林部の水深と流速を算出する<sup>2)</sup>。

図2に、一次元河川流解析によって得られた横断方向の流速分布を示す。樹木抵抗を考慮したことで樹林部部の流速が低減していることが確認できる。流速分布と合わせて水位の情報も算出される。このように、樹木抵抗を考慮した一次元解析を組み込むことで、樹林部における流速、水位の詳細情報を得ることができる。

稚樹の新規参入 $Jd_{\min}$ はヤナギ類の典型的な繁殖方法である栄養繁殖をモデル化し、次式のように与える。

$$Jd_{\min} = \alpha N_f + \beta F_s / Ds_{\min} \quad (3)$$

ここで、 $Jd_{\min}$ ：新規参入量、 $N_f$ ：倒木本数、 $F_s$ ：樹林部の空スペース(m<sup>2</sup>)、 $Ds_{\min}$ ：最小樹木サイズにおける樹冠

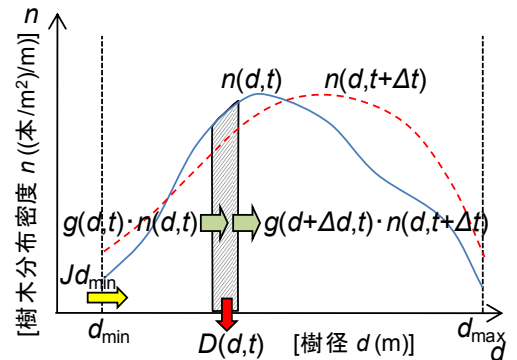


図1 動態予測モデルの概念図

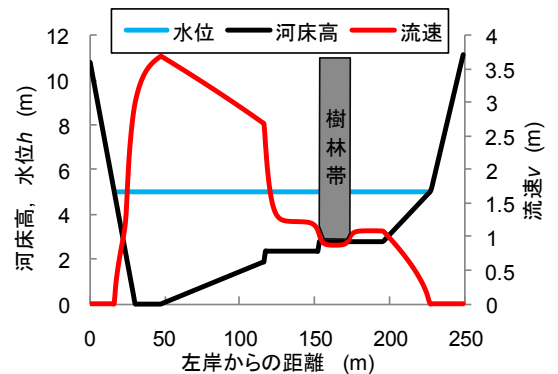


図2 横断方向の流速分布

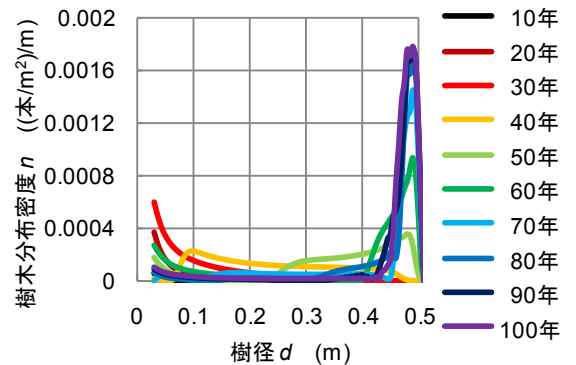
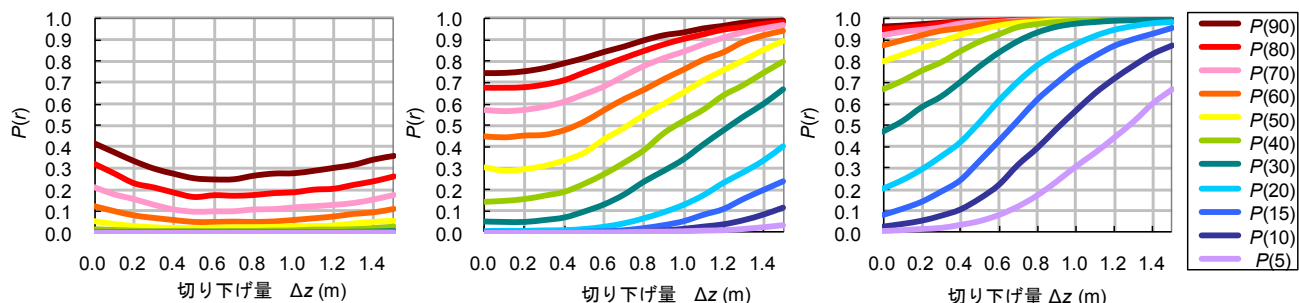


図3 樹林分布密度の経年変化(Q<sub>1.0</sub>)



(a) 現状流量規模の 0.8 倍( $Q_{0.8}$ ) (b) 現状流量規模( $Q_{1.0}$ ) (c) 現状流量規模の 1.2 倍( $Q_{1.2}$ )  
図 4 樹林面積の非超過確率  $P(r)$  と流量規模・切り下げ量の関係

投影面積( $m^2$ ),  $\alpha$ : 倒伏再生パラメータ,  $\beta$ : 漂着パラメータである。

栄養繁殖とは、倒木や出水後の漂着物から再生する繁殖方法である。

本報では、上述のように改良された予測モデルを用いて、樹林帯部における河床切下げが樹林動態に及ぼす影響を評価する。合わせて流量規模の変動による影響についても検討する。

### 3. 結果および考察

図 3 に樹木分布密度  $n(d,t)$  の経時変化を 10 年毎に示す。流量規模は流量シミュレーションにより実績値を再現した  $Q_{1.0}$  を使用し、樹木分布密度の初期値  $n(d,0)$  は裸地を与えた。図より、細い樹木は出水による減少と新規参入による増加を繰り返す。一方で、樹径の大きいものは出水によって死亡することなく、時間の経過とともにその分布密度を増加させ、平衡状態へと漸近する。

河床の切下げ量を変化させモンテカルロシミュレーションを実施する。図 3 のような樹林動態予測を 2000 回実施し、砂州上に占める樹林面積率が  $r$  % 以下になる非超過確率  $P(r)$  を算出することで樹林動態を評価した。図 4 に切下げ量と  $P(r)$  の関係を示す。 $Q_{0.8}$ ,  $Q_{1.0}$ ,  $Q_{1.2}$  は現状の流量規模をそれぞれ 0.8, 1.0, 1.2 倍した流量時系列を用いたことを示す。図 4(a) のケースでは、 $\Delta z$  の増加とともに  $P(r)$  は減少し、 $\Delta z=0.6$  を超えたあたりで増加傾向に転じる。 $P(r)$  が減少傾向を示す切下げ量の小さい場合は、冠水頻度の増加に伴い漂着樹木が定着しやすくなり、さらに流量規模が小さいため樹木倒伏するほどのインパクトが発生しにくい。このことから、新規参入の影響が優位に働き樹林化傾向に向かう。一方、切下げ量が  $\Delta z=0.6$  を超えると流体力の増加によるインパクトが大きくなり、樹木の新規参入圧力に勝ようになる。そのため  $P(r)$  が増加傾向となり、 $\Delta z$  の増加に伴い裸地化傾向が顕著になる。図 4(b), (c) のケースでは、 $\Delta z$  の増加に伴い  $P(r)$  も増加し、切下げによる樹林面積の減少効果が得られる。

次に、砂州における適切な樹林面積を  $r_1 \sim r_2$  % の範囲と仮定した時、 $\Delta P = P(r_1) - P(r_2)$  を樹林の環境平衡確率と定義して動態評価を行う。ここで、 $\Delta P$  が大きいほど適切な樹林環境が実現する確率が高くなると解釈する。本報では、極端な樹林化・裸地化が発生しない状況を適切な樹林面積と仮定し、 $P(r_1)=P(90)$ ,  $P(r_2)=P(10)$  とした。

図 5 に流量規模・切下げにともなう  $\Delta P$  の変化を示す。これより、現状の流量規模  $Q_{1.0}$  において、切下げ量を 1.2m に設定することで  $\Delta P$  の値が極大値をとり、最適環境になることが判断される。 $Q_{0.8}$  では、出水による樹木倒伏よりも新規参入による樹林繁茂の効果が優位に働くため全体的に  $\Delta P$  の値が減少し、適切な樹林環境の実現確率が低下する。 $Q_{1.2}$  の場合は、現状の断面で  $\Delta P$  の値が最大となり、切下げを行うほど出水による樹木の倒伏が顕著となるため、裸地化傾向が顕著になる意味で環境平衡確率  $\Delta P$  が減少する。

### 4. おわりに

本報では、樹木抵抗をモデル化した河川流解析を樹林動態モデルに組込むことでモデルの改良を行った。また、流量規模、切下げ量の違いによる樹林消長の確率評価を行った。今後、河川流解析から得られる水位情報を用いて治水評価を行うとともに、消長解析の流域全域への拡張を行う予定である。

【参考文献】1)宮本ら: 流量変動のインパクトを考慮した河道内樹林動態の確率モデル, 水工学論文集, 第 55 巻, 2011. 2)阿河ら: 一次元流況解析に基づく河道内樹木の適正管理に関する検討, 平成 23 年度土木学会関西支部年時学術講演会, 2011. 3)リバーフロント整備センター: 河川における樹木管理の手引き, 山海堂, 204p, 1999.

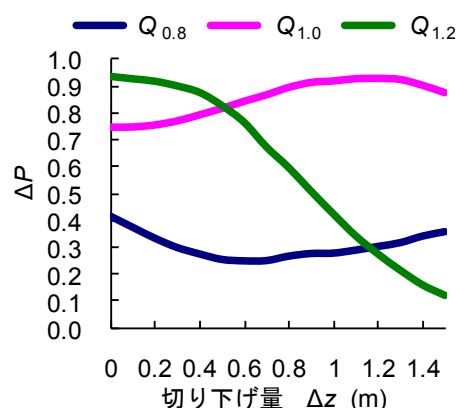


図 5 流量規模の違いによる  $\Delta P(r)$  の変化