

河道内樹木の消長特性と流量の確率特性を考慮した倒伏率の期待値評価

神戸大学大学院 学生員 ○谷口麻衣・木村諒・魚谷拓矢 フェロー会員 道奥康治 正会員 宮本仁志  
国土交通省 正会員 阿河一穂 明石工業高等専門学校 正会員 神田佳一

1. 序論

多くの河川で健在化する高水敷の樹林化は、疎通能力の減少、樹林部への土砂堆積、生態系の単調化、景観障害、水際の接近阻害と親水機能低下など、河川管理や利用の面で様々な問題をもたらしている。このため流水攪乱による倒伏促進と伐採施業などを組み合わせた総合的な樹林化抑制施策が必要である。このような河道内樹木の総合的管理に供する知見を得るために、本研究では樹木消長と流量の確率特性を考慮して、樹木倒伏率の期待値を評価する一手法を提案する。

2. 解析対象区間および仮想切り下げ施工エリア

解析対象は加古川の河口距離 23.0~24.4km に位置する樹林繁茂区間である (図-1 参照)。二次元二層流モデル<sup>1)</sup>と植生動態の確率モデル<sup>2)</sup>を用いて、高水敷の切り下げが河道内の樹林化抑制におよぼす長期的影響をエリアごとに検討した (図-2 参照)。図-2 におけるエリア①は竹林であり、その他のエリアの優先樹種はヤナギである。また切り下げを想定する高水敷は図-1 に示す赤の斜線部であり、高水敷の切り下げを 0.5m とする。

3. 植生動態の確率モデルと二次元解析

二次元二層流モデルでは、河道内樹木が冠水する条件において樹冠をつなぐ二層界面により河川流が上下二層に分割されて水理量が求められ、樹林内の低速流と周囲の高速流との内部せん断力や質量交換などが評価される。このモデルはある出水イベントにおける流況を所定の初期値・境界条件の下で求め、流れの構造や樹木に作用する流体力を評価することには適しているが、中長期にわたる河川水文学の確率特性や樹木動態などを考慮した流れの解析を実施することは困難である。そこで、植生動態の確率過程モデルによる時系列シミュレーション結果に基づいて、流量とその時の樹木の樹径・高さとの同時生起確率を求め、樹木倒伏モーメントの期待値を算定する。植生動態モデルでは、樹木が流体力を受けない平常時に樹木が成長あるいは新規参入するなどの生産・繁殖活動が表現され、出水時には流量規模に応じた流速・水位の下で樹木が流体攪乱を受け生体の死滅などがあらわされる。植生消長と流量の時系列シミュレーションを日単位で 100 年間実施し、解析結果が十分に収束する反復回数として 2,000 回実施した。

対象とする確率変数を、樹木密生度  $\lambda_{veg}$  ( $m^{-1}$ )、樹径  $d_v$  (m)、流量  $Q$  ( $m^3/s$ )の三つとし、その同時生起確率の密度  $p(\lambda_{veg}, d_v, Q)$ は  $M$  ( $=2,000$ )個生成された時系列上での $(\lambda_{veg}, d_v, Q)$ の組み合わせの出現頻度と定義する。具体的には、 $(\lambda_{veg}, d_v, Q)$ の三次元座標軸を有限間隔 $(\Delta\lambda_{veg}, \Delta d_v, \Delta Q)$ 毎に $(\lambda_{vegi}, d_{vj}, Q_k)$  ( $i=1 \dots I, j=1 \dots J, k=1 \dots K$ )のように離散化する。 $m$  回目の流量時系列・植生動態シミュレーションにおいて

$(\lambda_{vegi}, d_{vj}, Q_k)$ の組み合わせが出現する確率密度  $p_m(\lambda_{vegi}, d_{vj}, Q_k)$ とは、シミュレーション時間  $T$  ( $=100$  年) の中で $(\lambda_{veg}, d_v, Q)$ が $[(\lambda_{vegi}-\Delta\lambda_{veg}/2 \leq \lambda_{veg} \leq \lambda_{vegi}+\Delta\lambda_{veg}/2) \& (d_{vj}-\Delta d_v/2 \leq d_v \leq d_{vj}+\Delta d_v/2) \& (Q_k-\Delta Q/2 \leq Q \leq Q_k+\Delta Q/2)]$ の全ての条件を満足する時間の合計  $\Delta t_m(\lambda_{vegi}, d_{vj}, Q_k)$ とした時の

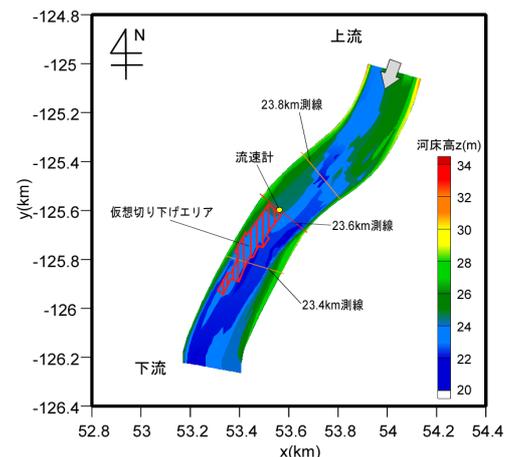


図-1 解析対象区間

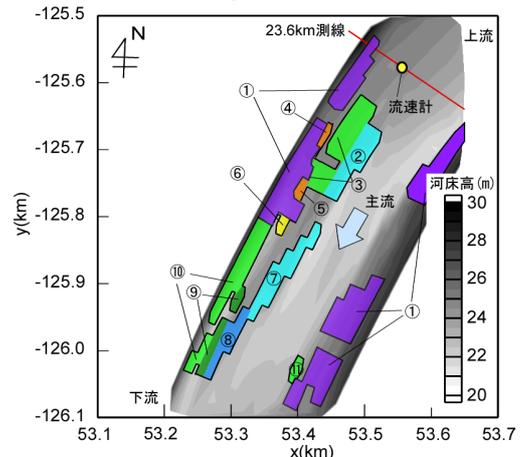


図-2 樹林エリア

キーワード 河道内樹木, 倒伏モーメント比, 二次元二層流モデル, 植生動態の確率過程モデル

連絡先 〒657-8501 神戸市灘区六甲台町1-1 神戸大学大学院工学研究科 TEL078-803-6056

$$p_m(\lambda_{\text{vegi}}, d_{\text{vj}}, Q_k) = \Delta t_m(\lambda_{\text{vegi}}, d_{\text{vj}}, Q_k) / T \tag{1}$$

と定義される。したがって、合計  $M$  回の流量時系列・植生動態シミュレーションから得られる  $(\lambda_{\text{ved}}, d_{\text{vj}}, Q_k)$  の出現確率密度は次式のように定義される。

$$p(\lambda_{\text{vegi}}, d_{\text{vj}}, Q_k) = \sum_{m=1}^M \frac{\Delta t_m(\lambda_{\text{vegi}}, d_{\text{vj}}, Q_k)}{MT} \tag{2}$$

$p(\lambda_{\text{vegi}}, d_{\text{vj}}, Q)$  の定義より

$$\iiint p(\lambda_{\text{veg}}, d_{\text{v}}, Q) d\lambda_{\text{veg}} dd_{\text{v}} dQ = 1 \tag{3}$$

である。式(2)を用いれば、流量確率特性と樹林植生の生態動態を考慮した倒伏モーメント比  $M_v/M_c$  の期待値  $(M_v/M_c)_E$  が次式(4)のように求められる。

$$(M_v/M_c)_E = \int \int \int \frac{M_v}{M_c}(\lambda_{\text{veg}}, d_{\text{v}}, Q) \cdot p(\lambda_{\text{veg}}, d_{\text{v}}, Q) d\lambda_{\text{veg}} dd_{\text{v}} dQ \tag{4}$$

ここで  $M_v/M_c$  は倒伏モーメント  $M_v$  と倒伏限界モーメント  $M_c$  の比であり、 $M_v/M_c > 1$  のとき樹木は倒伏すると判定する。 $M_v$  は次式(5)で示される<sup>3)</sup>。

$$M_v = \frac{1}{2N} h_v F \tag{5}$$

ここで  $N$ : 樹木の密度(本/m<sup>2</sup>)、 $h_v$ : 樹高(m)、 $F$ : 流体力(N/m<sup>3</sup>)であり、 $F$  は二次元二層流モデルから得られる。また  $M_c$  は樹木固有の特性値であり、次式(6)で評価される。

$$M_c = 24.5 \times d_v^2 \tag{6}$$

#### 4. 切り下げ施工が倒伏モーメント比に及ぼす影響

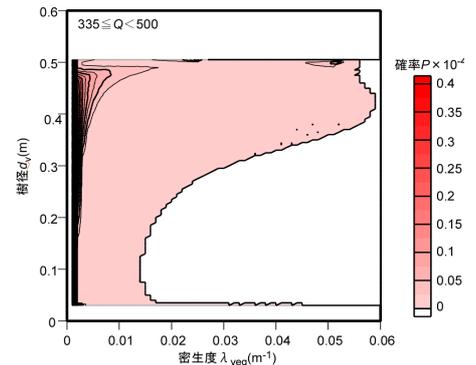
図-3 に切り下げ施工前の流量  $335 \leq Q < 500$  (m<sup>3</sup>/s) の範囲における  $p(\lambda_{\text{veg}}, d_v)$  とエリア②における倒伏モーメント比  $M_v/M_c(\lambda_{\text{veg}}, d_v)$  を示す。図-3(a)を見ると、密生度  $\lambda_{\text{veg}}$  が低い領域に事象の生起確率が集中している。また、この場合樹径  $d_v$  が小さく、 $\lambda_{\text{veg}}$  が高い事象が同時に生起する確率は非常に低く評価されている。図-3(b)を見ると  $\lambda_{\text{veg}}$  が小さく  $d_v$  が小さい方が  $M_v/M_c$  が大きい。図-4 には期待値  $(M_v/M_c)_E$  を樹林エリアごとにヒストグラムで示す。高水敷を切り下げの前よりも切り下げた後の方が  $(M_v/M_c)_E$  は全エリアにわたり大きくなっており、切り下げ施工の効果は中長期的にわたり及ぶことがわかる。特に、流水攪乱効果が期待される水衝部のエリア②③や水際部のエリア⑦⑧では  $(M_v/M_c)_E$  の増加が顕著である。堤防部法尻部のエリア⑨⑩でも  $(M_v/M_c)_E$  が増加しているが、これは旧滞筋によって水衝部となる箇所であり、現地ではエリア⑨の下流には根固め工が施されている。したがって、高水敷切り下げを実施する際には、かえって堤防法尻に洪水流を呼び込む恐れがあり、浸食されないような対策が必要と考えられる。

#### 5. 結論

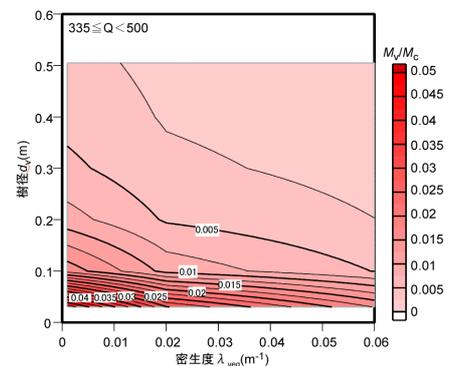
流体力の空間分布を与える二次元二層流モデルと、植生消長特性・水文事象の確率過程の考慮の下で  $M_v/M_c$  の中長期的な挙動を再現できる樹木動態モデルのそれぞれの利点を組み合わせて、高水敷の切り下げ施工の中長期的影響を評価する手法を提案した。切り下げ施工後の  $(M_v/M_c)_E$  が全体的に増加し切り下げ施工が流水攪乱効果を増加させることなどが確認された。

#### 参考文献

- 1) 道奥康治ら：捨石水制が冠水した開水路流の二次元二層流モデル，土木学会論文集，No.479-489,1999.
- 2) 宮本仁志ら：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，土木学会論文集 B1(水工学)，vol.67, No.4, pp.I\_1405-I\_1410, 2011.
- 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.134, 1999.



(a) 確率分布



(b)  $M_v/M_c$  の平均値

図-3  $335 \leq Q < 500$  (m<sup>3</sup>/s) の確率分布と  $M_v/M_c$  の平均値

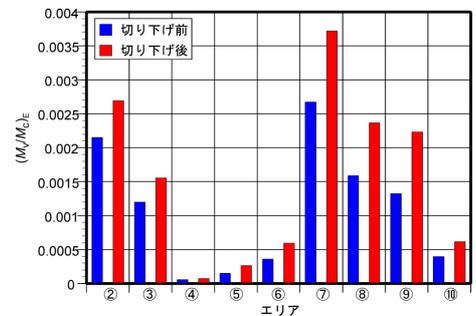


図-4 エリアごとの  $(M_v/M_c)_E$