

側岸侵食が樹木の流失限界に及ぼす影響

埼玉大学 学生会員 ○八木澤 順治

埼玉大学 学生会員 干川 真

埼玉大学 正会員 田中 規夫

1. はじめに

2007年9月に生じた台風9号による洪水は、近年まれにみる大洪水で多くの樹木が破壊され、特に砂礫州上に繁茂する樹木の破壊は顕著であった。このように樹木が流木化すると河川構造物の破損等を引き起こす可能性がある。従って樹木の破壊条件を明らかにすることは河道管理の観点から重要である。

そこで、本研究では砂礫州上樹木の洪水による破壊限界を把握することを目的とし、以下の2点について検討する。①2006年、2007年の洪水を対象として、数値計算より対象砂礫州(荒川の熊谷大橋上流)の樹木繁茂地点に作用する底面せん断力を求め、それと洪水による流失実績からタチヤナギおよびハリエンジュの流失限界せん断力を把握する。②2007年の洪水を対象として、対象砂礫州の側岸部および側岸部以外で流失した樹木の流失限界を把握するため、それぞれの繁茂地点にどの程度の無次元掃流力が作用したかを明らかにする。

2. 研究方法

(1) 洪水解析モデル

本研究では、一般座標系で表示される流れの基礎式を用いた。連続式を式(1)に、運動方程式を式(2)に示す。

$$\theta \frac{\partial}{\partial t} \left(\frac{h}{J} \right) + \frac{\partial}{\partial \xi} \left(\frac{Uh}{J} \right) + \frac{\partial}{\partial \eta} \left(\frac{Vh}{J} \right) = 0 \quad (1)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial}{\partial t} \left(\frac{Q_x}{J} \right) + \frac{\partial}{\partial \xi} \left(\frac{UQ_x}{J} \right) + \frac{\partial}{\partial \eta} \left(\frac{VQ_x}{J} \right) = -g h \left(\frac{\xi_x}{J} \frac{\partial Z_s}{\partial \xi} + \frac{\eta_x}{J} \frac{\partial Z_s}{\partial \eta} \right) - \frac{\tau_x}{\rho J} - \frac{F_x}{J} + \\ \frac{\xi_x}{J} \frac{\partial}{\partial \xi} (-u^2 h) + \frac{\xi_y}{J} \frac{\partial}{\partial \xi} (-u v h) + \frac{\eta_x}{J} \frac{\partial}{\partial \eta} (-u^2 h) + \frac{\eta_y}{J} \frac{\partial}{\partial \eta} (-u v h) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial}{\partial t} \left(\frac{Q_y}{J} \right) + \frac{\partial}{\partial \xi} \left(\frac{UQ_y}{J} \right) + \frac{\partial}{\partial \eta} \left(\frac{VQ_y}{J} \right) = -g h \left(\frac{\xi_y}{J} \frac{\partial Z_s}{\partial \xi} + \frac{\eta_y}{J} \frac{\partial Z_s}{\partial \eta} \right) - \frac{\tau_y}{\rho J} - \frac{F_y}{J} + \\ \frac{\xi_x}{J} \frac{\partial}{\partial \xi} (-u v h) + \frac{\xi_y}{J} \frac{\partial}{\partial \xi} (-v^2 h) + \frac{\eta_x}{J} \frac{\partial}{\partial \eta} (-u v h) + \frac{\eta_y}{J} \frac{\partial}{\partial \eta} (-v^2 h) \end{aligned} \quad (2)$$

ここに、 θ : 空隙率、 t : 時間、 J : ヤコビアン、 (U, V) : 流速ベクトルの反変成分(m/s)、 (u, v) : 水深平均流速(m/s)、 (Q_x, Q_y) : 流量フラックス(m²/s)、 g : 重力加速度

(m/s²)、 h : 水深(m)、 ρ : 水の密度(kg/m³)、 Z_s : 水位(m)、 (τ_x, τ_y) : x - y 座標系の底面せん断応力の成分(N/m²)、 $-\overline{u^2}$ 、 $-\overline{u v}$ 、 $-\overline{v^2}$: x - y 座標系の水深平均レイノルズ応力(N/m²)、 (f_x, f_y) : 単位面積あたりの植生抵抗(N/m²)である。また、解析対象区間は荒川の距離標76~82kmとし、境界条件として2006年10月と2007年9月の洪水の実測データを与え、上流端には植松橋水位・流量観測所の実測流量、下流端には熊谷水位観測所の実測水位を与えた。

(2) 砂礫州上に繁茂する植物の流失限界せん断力

流失限界せん断力を把握する対象植物として対象砂礫州に繁茂する代表的な樹木(タチヤナギ、ハリエンジュ)の2種類を選定した。数値計算により得られる、洪水ピーク時の樹木繁茂地点の水深 H_{max} (m)、エネルギー勾配 I_e をもとに、せん断力 τ を以下の式より算出した。

$$\tau = \rho g H_{max} I_e \quad (3)$$

式(3)より得られる底面せん断力値と2006、2007年の洪水後に行なった対象砂礫州における植物の流失状況に関する現地調査結果をもとにタチヤナギおよびハリエンジュの流失限界せん断力 τ_c を把握した。

(3) 側岸部および側岸部以外で流失した樹木の繁茂地点における無次元掃流力

側岸部と側岸部以外の比較的平坦な場所に繁茂していた樹木の流失限界の違いを把握するため、繁茂地点の84%粒径の無次元掃流力 τ_{*84} 、無次元限界掃流力 τ_{*c84} を以下の式(3)、(4)¹⁾より算出した。

$$\tau_{*84} = \frac{H_{max} I_e}{S d_{84}} \quad (3)$$

$$\frac{\tau_{*c84}}{\tau_{*c50}} = \left[\frac{\log_{10} 19}{\log_{10} 19(d_{84}/d_{50})} \right]^2 \left(\frac{d_{84}}{d_{50}} \right) \quad (4)$$

ここに、 H_{max} : 最大水深(m)、 S : 土粒子の水中比重(=1.65)、 d_{50}, d_{84} : それぞれ、50%粒径(m)、84%粒径(m)、 τ_{*50} 、 τ_{*84} : それぞれ、50%粒径、84%粒径の無次元限界掃流力であり、 τ_{*50} は0.06とした。

キーワード 河道内樹木、側岸侵食、流失限界せん断力、タチヤナギ、ハリエンジュ

連絡先 〒338-8570 埼玉県さいたま市桜区下大久保255 埼玉大学大学院理工学研究科

3. 結果および考察

(1) タチヤナギの流失限界せん断力 τ_c の推定

解析の最大水位と実際の洪水時の痕跡水位とを比較し計算の検証を行ない、対象砂礫州周辺の洪水ピーク時における水深コンター図、流速ベクトル図(図-1(A))を作成した。流失限界せん断力を把握する際には、図-1(B)のA地点やB地点のように側岸部ではなく比較的平坦な場所に繁茂した樹木を対象とした。これらの結果をもとに把握した2006、2007年の2洪水時に樹木繁茂地点に作用したせん断力と抗力モーメントとの関係を図-2に示す。どちらの樹種も抗力モーメント値によって流失条件を明確に把握することは難しいが、未流失のせん断力のうち、最大値を流失限界せん断力 τ_c と定義すると、タチヤナギ、ハリエンジュの τ_c はそれぞれ、 $67(N/m^2)$ 、 $73(N/m^2)$ であり、流失・未流失を表現できることがわかった。

(2) 側岸侵食で流失した樹木の流失限界

図-3は2007年の洪水解析より得られたタチヤナギ繁茂位置における84%粒径の無次元掃流力 τ_{*84} と流失の有無を表している。図-3において、 τ_{*84} が84%粒径の無次元限界掃流力 τ_{*c84} を上回れば、樹木も流失すると定義した場合、砂礫州の平坦な場所で流失されたタチヤナギは τ_{*c84} より小さい値でも流失されていた。この理由として、樹木周辺の局所流によって支持基盤が失われることで樹木が流失しやすくなったと考えられる。また、砂礫州の平坦な場所では τ_{*84} が0.03~0.04の範囲で流失されなかったのに対し、図-1(B)のC地点のような側岸部では τ_{*84} が0.02以下でも流失している樹木もあった。側岸侵食によって樹木の支持基盤そのものが無くなることによって容易に流失しやすくなったものと考えられる。

4. おわりに

本研究で以下の点を明らかにした。

- ①荒川・熊谷大橋地点の砂礫州(平均河床勾配:1/375)に繁茂したタチヤナギ、ハリエンジュはそれぞれ、 $67N/m^2$ 、 $73N/m^2$ 以上のせん断力で流失することがわかった。
- ②側岸に繁茂した樹木の流失限界は、砂礫州の比較的平坦な場所に繁茂した樹木の流失限界より小さな値で流失することがわかった。河岸沿いの樹木が側岸侵食に果たす役割を把握することが重要である。

謝辞: 本研究の実施にあたり、国土交通省荒川上流河川事務所に多くの資料を提供頂いた。本研究の一部に河川整備基金の助成金を使用した。記して謝意を表します。

参考文献

- 1) 河村 三郎: 土砂水理学 1, 森北出版, pp.65-69, 2005.

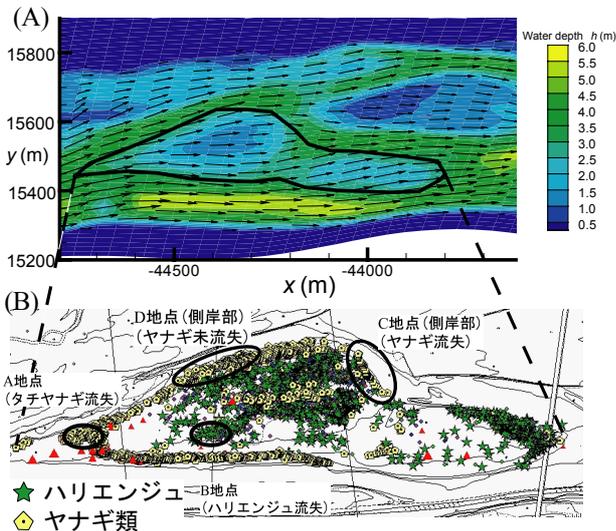


図-1 対象砂礫州周辺の洪水ピーク時の流況および植生繁茂状況 (A)水深コンターと流速ベクトル, (B)ハリエンジュおよびタチヤナギの流失箇所の概略図

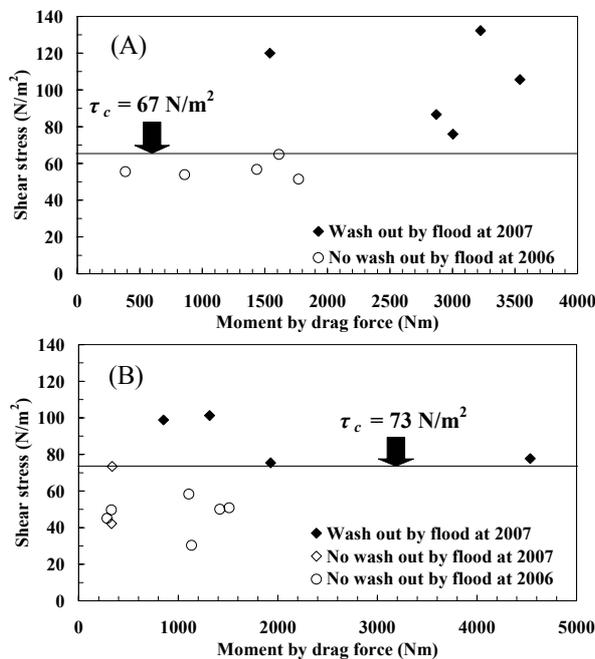


図-2 2006、2007年の洪水解析より得られた樹木繁茂位置における底面せん断力 τ と流失実績との比較 (A)タチヤナギ, (B)ハリエンジュ

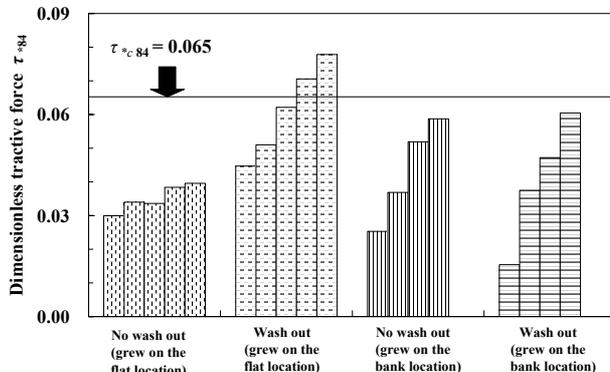


図-3 2007年の洪水解析より得られたタチヤナギ繁茂位置における84%粒径の無次元掃流力 τ_{*84} と流失の有無 (各条件において τ_{*84} の値が小さい順に並べた)