出水時における河道内樹木の破壊条件に関する基礎的研究

山梨大学大学院　学生会員○河野　逸朗
山梨大学工学部　正会員　砂田　憲吾
建設省甲府工事事務所　米山　実

1. はじめに

河川植生は,河川及び周辺地域の生態系の中心的存在であり,重要な環境要素の一つである．著者らはこれまでに，植生分布と河道特性及びそれらの長期傾向，樹木の破壊条件に関する基礎的研究を行ってきている[1), 2)]．特に，洪水時の河道内樹木の破壊条件については，樹木の破壊を分類・定義し，長方形幅広断面における樹木の破壊限界を与える流量を検討している．ここでは，実河床横断面を考慮した場合について検討した．

表-1　樹木の破壊の分類・定義

分類	定義
折　損	出水前の立木の状態から，水に浸かり流水の作用により，樹幹の根元で折れてしまう破壊
倒　伏	破壊前までは折損と同様で，破壊の際に樹幹が折れずに曲がった破壊
抜　根	樹木が倒伏して流水に浸かっている状態で，流体力の作用で樹木が河床から抜けてしまう破壊
周辺洗掘	樹木が倒伏した状態から樹木根元で周辺が洗掘され，根の先端の深さ付近まで掘れて破壊
侵食流去	出水量が多くなると流砂の洗掘,堆積に伴う河床の変動が頻繁に起こる．流水により河床が少しずつ削られて，河床が低下し樹木が流木となる破壊
土砂堆積	河床変動の堆積が生じる領域で,樹木が倒伏した状態で土砂がある程度堆積して破壊

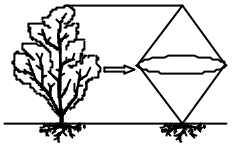


図-1　樹木のモデル化

図-2　根鉢のモデル化

2. 河道内樹木の破壊条件に関する概要

2.1 樹木破壊の分類・定義

植生は出水時には河道内の繁茂位置，出水の程度などにより様々な形態破壊が起こり得る．単木として河道内における樹木の破壊を表-1 のように 6 種に分類・定義した．

2.2 破壊限界を与える流量

対象としたのは流域が富士川水系笛吹川，樹種がカワヤナギとする．ここでは，分類した 6 種の破壊モデルのうち大規模な土砂の変動に関係する侵食流去と土砂堆積による破壊以外の場合について,流量（Q［m^3/s］），樹齢（Y［歳］）をパラメータとし，様々な値に変化させて検討を行った．4 種の破壊モデルの破壊の作用値及び推定限界値から，破壊限界を与える最小流量（Q_{min}［m^3/s］）を笛吹川万年橋付近で破壊が起こると想定してそれぞれ推定した．表-2 に 4 種の破壊モデルの破壊の作用値及び推定限界値で用いた算定式を示す．なお，出水時の平均流速（u_m［m/s］），水深（h［m］）は Q を用いて等流条件から与えた．Q，h などに依存しない周辺洗掘による破壊以外の場合について，Y と Q_{min} の関係を図-3 に示した．図-3 から，折損と倒伏における Q_{min} について，折損の Q_{min} より倒伏の Q_{min} のほうが小さいため，折損が起こる前に倒伏が起こると考えられる．出水で一瞬にして折損の限界値を超える流量が樹木に作用すれば樹幹が根元で折れる．しかし，このような現象は通常考えにくい．出水時には徐々に流量が増加していくので，樹木も流水の作用で少しずつ傾いて倒伏する

表-2　破壊の作用値及び推定限界位置で用いた算定式

破壊モデル	算定式	
	破壊の作用値	破壊の推定限界値
折　損	根元でのモーメント（M［kgf･m］）［モデル化図-1］ $M = \frac{1}{2} r C_D \int_0^h u(y)^2 y \, dA$	限界モーメント（M_C［kgf･m］） $s_C = \frac{M_C}{I} \frac{D}{2}$
倒　伏		限界モーメント（M_D［kgf･m］） $M_D = 2.5 D'^{2.0}$ 建設省河川局治水課[4)]
抜　根	流水抵抗力（P［kgf］） $P = 0.00149 u_m^{1.5} (1.24Y - 0.35)^{1.2}$ 石川[2)]	根の耐力（N_C［kgf］）［モデル化図-2］ $N_C = 2 p_0 \int_0^R R \cos\theta \, dz = \frac{2g R^3}{3}$
周辺洗掘	最大洗掘深（Z_{sd}［cm］） $Z_{sd} = K_S D \left(3.4 - 0.9 \log_{10} \frac{D}{d}\right)$ 中川・鈴木の推定式[3)]	根鉢の最大深さ（R［cm］） R

ρ：水の密度，C_D：樹木の抗力係数，u(y)：流速分布［m/s］，dA：微小投影面積［m^2］，σ_C：終局強度［kgf/m^2］，I：樹幹の断面二次モーメント［m^4］，D：根元直径［cm］，D'：胸高直径［cm］，p_0：水平方向の圧力［kgf/cm^2］，z：河床からの任意深さ［cm］，γ：砂礫の単位体積重量［kgf/cm^3］，K_S：断面前頭部の形状に関する補正係数，d：砂礫の粒径［cm］

Keywords：河川植生，洪水，樹木破壊，河床横断面

〒400-8511　甲府市武田 4-3-11　TEL　055-220-8522　FAX　055-220-8773

はずである．また，図-3 の一点鎖線は'98 年の台風 5 号による石和流量観測所のピーク流量である．図-3 から折損と倒伏による破壊が起こることになる．しかし，その後の樹木の状況を調査した結果，そこでは他の破壊も起こっていた．Q_{min} については，樹木をモデル化し単木でゴミの付着などを考慮していない．実河川の樹木の状況では，図-4 のように破壊している樹木ほとんどにゴミが付着していた．したがって，今後はこれらも考慮する必要がある．

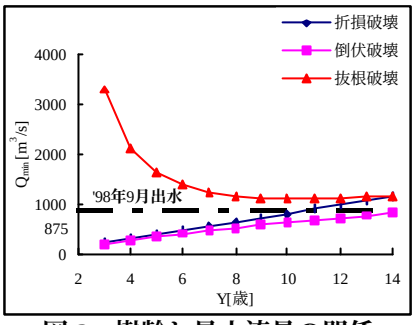


図-3　樹齢と最小流量の関係

3.　河床横断面を考慮した破壊の作用値の算定

3.1　河床横断面

図-5 の長方形幅広断面では全ての箇所に流れるため，平均的な破壊条件が全断面で算定される．これに対して，実河床横断面を考慮する．図-6 は河床横断面を 10m ずつに区切り，各区間内で河床高の平均をとり階段状にモデル化したものである．図-6 で出水が起こったとき，河床横断面では集中して流れる箇所や，全く流れない箇所があり，それらの箇所に棲息している樹木は破壊されたり，破壊されなかったりする．

図-4　樹木破壊の状況

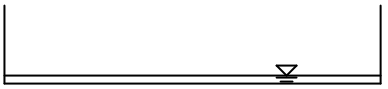


図-5　長方形幅広断面

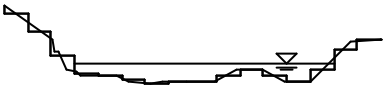
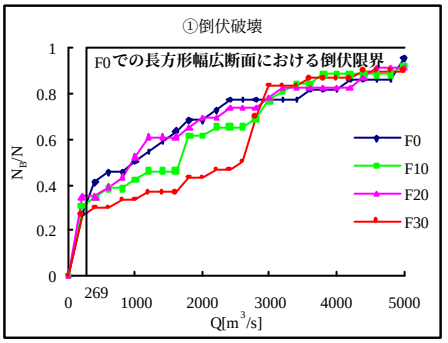


図-6　モデル化した実河床横断面

3.2　河床横断面を考慮した破壊の作用値の算定

次の仮定を基に破壊の作用値の算定を行う．（ｉ）樹木は樹齢 4 歳のカワヤナギが平面的に平均に存在するとする．（ii）等流で，ある流量を流したときに各断面の境界で生じる渦等によるエネルギー損失は無視する．笛吹川の地点（F0，F10，F20，F30）の河床横断面をモデル化し，Q が 200，400，･･･，5000［m^3/s］と流れたときの破壊の作用値を算定し，総断面数を N，ある Q のときに破壊した断面数を N_B として，Q と N_B/N の関係を①に倒伏破壊，②に抜根破壊と図-7 に示した．図-7①の実線は F0 での長方形幅広断面における Q_{min} である．これは Q=269［m^3/s］以上の Q が流れると $N_B/N=1$ となり，F0 では破壊することを表している．このように，それぞれの破壊において河床横断面を考慮した場合，全ての箇所で破壊は起こらずより現実的である．



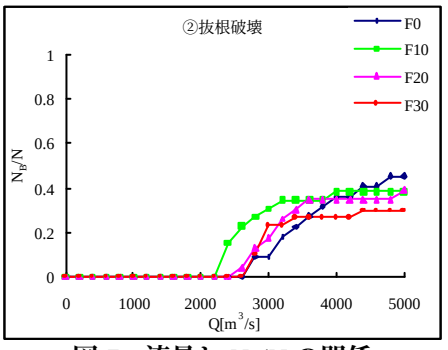


図-7　流量と N_B/N の関係

4.　おわりに

洪水時の河道内樹木の破壊条件について，折損・倒伏・抜根における破壊限界を与える流量を検討した結果，実河川でこれらを適用する場合，まだ樹木をモデル化し単木でゴミの付着などを考慮していなく，算定法及びモデルの再構成が必要であると考えている．また，長方形幅広断面より河床横断面を考慮して破壊の作用値を算定したほうが合理的であるが，代表的な横断面形状と植生分布の設定に課題が残されている．さらに検討を重ねていきたい．

参考文献

1)　砂田憲吾・岩本　尚・渡辺勝彦：出水履歴と河道特性が植生域の長期変動に及ぼす影響に関する基礎的研究，水工学論文集，Vol.42，pp.451-456，1998.
2)　河野逸朗・砂田憲吾・米山　実：出水時における河道内樹木の破壊に関する基礎解析，第 27 回関東支部技術研究発表会講演概要集，Ⅱ-11，pp.222-223，2000.
3)　石川忠晴：水制と灌木が一体となった半自然的河川構造物に関する基礎的研究，平成４年度科学研究費補助金研究成果報告書，pp.5-61，1994.
4)　土木学会：水理公式集，pp.272-276，1980.
5)　建設省河川局治水課：河道内樹木の伐採・植樹のためのガイドライン（案），山海堂，pp.20-33，1993.