

II-14 傾斜地域河道における流木の挙動に関する基礎的考察

京都大学防災研究所 正員 藤田 裕一郎 正員 村本 嘉雄
 京都大学 工学部 学生員 田中 好秀

1. はしがき 傾斜地域の河道災害は、河岸周辺の侵食、山腹の崩壊や表層すべり等による大量の流木のために被害が拡大される。すなわち、流木は、衝突による河岸や構造物の損壊、河道堰止めによる氾濫を引き起こし、農地や市街地に堆積して、災害復旧を著しく困難にする。ここでは、このような傾斜地域の河道における流木の挙動について基礎的考察を加え、粗面路床水路で進めている実験について報告する。

2. 流木の運動に関する基礎的考察¹⁾ 河道を流下する流木に関しては、足立・大同²⁾や水原³⁾の研究がよく知られているが、取り扱われた運動機構は滑面水路のような理想的な状態のみであるので、実際の状況とはかなり異なっていると思われる。流木による災害発生機構に関する考察には、第一に流木自体の適切なモデル化、ついで、そのモデルに基づいた流送機構の力学的定式化が基礎となろう。しかしながら、第一の点もこれまでほとんど検討されていないと見られる。

その第一点については、立木状態の山腹や河岸から河道内に輸送された直後の流木は、図-1に模式的に示したように、樹幹、樹根及び枝条の3つの部分からなるので、その最少限の幾何特性は、同図のように、樹幹長（樹高） l 、樹根幅 r 、及び枝条幅 w の3量によって特徴づけられる。当然これらの幾何諸量は、樹種、生育条件などによって決められ、河道までの輸送状況や河道内の流送条件によっても変化して、そうした変化自体が流木の輸送機構の大きな特徴である。すなわち、この形状諸量は、水深、流速、河床・河岸の凹凸（河道粗度）、流下距離などの関数としてもとらえなければ、流木を含んだ傾斜地域の洪水流特性は把握できない。

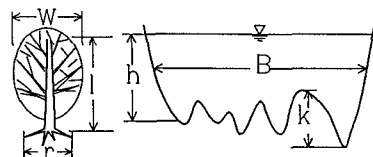


図-1 流木と河道断面の模式化

同時に、洪水流によって運搬される流木は、同図に模式化した河道断面の諸元（流路幅 B 、水深 h 及び河床凹凸のスケール k ）との幾何的關係によって様々な運動形態をとる。山間の幅が狭く、河床凹凸の激しい河道では、 $B > h > k$ の関係にはあるが、それぞれ1オーダーまでの相違である見なされる。一方、流木の幾何特性は、立木状態から短距離で河道に供給された場合には $l \sim w > r$ のように考えられる。

これより、河道及び流木の代表長としてそれぞれ h 及び w をとると、例えば、 $h \gg w$ のときには、流木は流水境界の影響を受にくく、流木に働く重力、浮力及び流水との相対速度に基づく抗力の釣合から求まる速度³⁾で流木は移動するが、現実の山間河道ではこのような条件の区間はほとんど無いといえよう。

$h > w$ のときには、流木は、流速分布や河床の凹凸のために時に回転をしながら流下すると見られ、 h が減少した $h \sim w$ のときには、河床に枝条や樹根が常に河床に接してしまうため、流木はその一部を失いながら転動して流下すると思われる。さらに、 $h < w$ のときには流木は河床との間の摩擦のために強い力を受けながらゆっくりと流下するようになる。洪水後に堆積している流木の状態から判断すると、樹根に比して折れ易い枝条は、樹幹からもぎ取られて w は大きく減少する。これから逆に、河床との間の摩擦力は、枝条をもぎ取ることはできるが、樹根をちぎり取るほど大きくはないと推定される。

以上の流送機構を支配する要因によって、河道が含み得る流木体積（飽和混在度）は規定され、混在度が上昇すれば、流木が河床や河岸から受ける抵抗は増大して移動速度は低下し、水流による抗力が小さいと流木は塊となって河道内に残存する。そのような過程を把握するために以下に述べる実験を開始している。

3. 粗面河道における流木の挙動に関する基礎実験¹⁾ 実験は、幅0.4m、深さ0.3m、長さ15mの可変勾配水路に直径約24mmのビー玉を敷き、その下半分の空隙をオガ屑と酢酸ビニールエマルジョンあるいは石膏で充填して半球粗度路床を作成し、流木モデルとして、いずれも0.2m長の6mmφポリプロピレン棒（比重約0.96）あるいは6mm□アクリル棒（比重約1.06）を用いて行っている。薄型ミニベルトコンベアと4m長ステンレスパイプ10本を組み合わせた、水路上流端に設置の給木装置は、流下方向に平行な軸の流木を幅方向

表-1 実験条件

実験 番号	路床 勾配	流量 l/s	水深 cm	流速 m/s	水温 °C	側壁 突起
R1	1/100	1.5	1.18	0.36	8.0	無
R2	1/100	1.5	1.18	0.38	7.7	有
R3	1/100	1.1	0.87	0.30	9.5	無
R4	1/100	1.1	0.87	0.31	8.8	有
R5	1/50	2.4	1.13	0.51	7.0	無
R6	1/50	2.4	1.13	0.52	8.5	有
R7	1/50	1.3	0.89	0.40	7.0	無
R8	1/50	1.3	0.89	0.38	8.5	有
Y1	1/50	1.9	1.09	0.47	7.7	無
Y2	1/50	1.6	0.91	0.43	8.8	無
Y3	1/50	4.1	1.81	0.65	9.5	無

実験番号 R はプロピレン棒、Y はアクリル棒
水深は粗度頂点上の平均、流速は表面浮子流速

に10本、流れ方向に30本供給でき、ベルト速度を制御して給木量を調節できる。実験では、流木の挙動を水路上方からの平面写真で記録するとともに、下流端の後方からVTRで流下状況をモニターし、流木の流下に伴う水位変化量をパソコン制御のパルスモーターで牽引される台車上に上載したサーボ式波高計で計測している。実験条件は、表-1のように、ポリプロピレン棒については、1/100及び1/50の水路勾配に対して、河岸の不整を模した15mmの突起を1m間隔で設けた場合と設けなかった場合を、アクリル棒については、1/50勾配に対して無突起の場合のみを設定した。流量は、粗度要素頂点の上の水深が流木モデルの直径の1.5倍あるいは2倍のそれぞれ約9mmあるいは12mmになるようにバルブ調節して与え、給木しない場合と、ベルト速度を約0.13、0.25、0.5m/sの3段階に設定して給木した場合について実験を行った。給木実験の水位測定は、流木モデルが流れ方向に15列(150本)供給された時点で行っている。

水深が小さく、給木速度の大きい条件の実験では、流木の比重が1未満で側壁突起が無い場合でも路床上に流木が堆積する現象が認められ、一方、水深の大きい条件では、最大の給木速度でも堆積は生じなかった。突起の有る場合には、広い水深・流量範囲に対して堰止め現象が発生したが、堆積しない場合も生じ、粗面水路の流木流送能力に限界のあることが推定される。すなわち、実験結果を流木群の河道堆積の発生・非発生に着目して、側壁に突起の有る場合と無い場合について示せば、それぞれ図-2及び図-3のようになり、ある勾配と流量に対して堆積の生じる限界流木密度があり、流木の群内相互あるいは近接の流木群との間の相互干渉がなければ、一様な粗度河床における流木堆積は生じないことが判る。映像記録によれば、突起のある水路で流木が堆積する場合は、2つの流木塊が同時に両側壁の突起に引っかかって回転し、それが重なり合うことが引き金になり、突起の無い水路での堆積は、流下速度が減少していた流木群の下部に上流からの流木群が潜り込んで積み重なる場合しか発生しなかった。これより、流木の存在する河道にとって、河岸の凹凸が流木の疏通を阻害しやすく、水流の堰上げと溢水氾濫を招く危険性の高いことが指摘されるが、同時に山間河道では、下流への流木負荷を軽減することも類推される。一方、水流に沈み易く角のある流木モデルの場合には、流れに対して抗力を減じるように挙動して、比較的低流速域に溜まりやすい傾向がみられた。

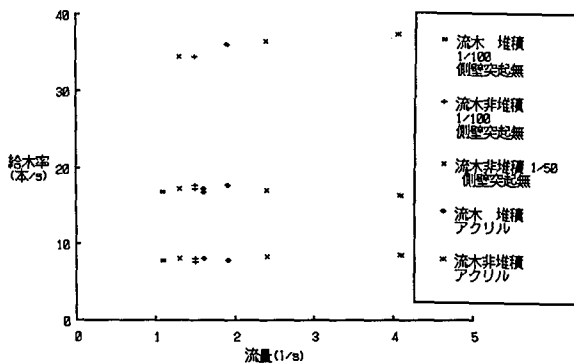


図-2 側壁突起が無い場合の流木堆積の発生状況

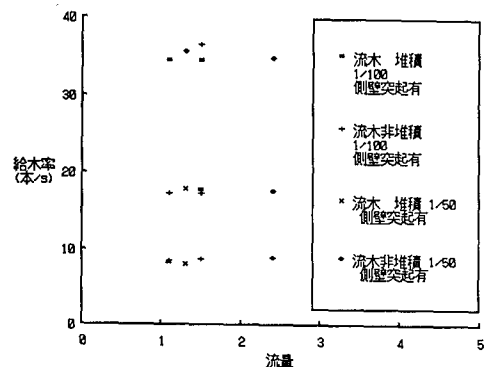


図-3 側壁突起が有る場合の流木堆積の発生状況

4. あとがき 傾斜地域の河道における流木の挙動について、今後、力学的検討を進めるとともに、流木が河道に取り込まれていく過程や河岸に与える影響について実験的考察を進めていくつもりである。

参考文献 1) 藤田：京大防災研年報，34号B-2，1991． 2) 足立・大同：京大防災研年報，1号，1957．
3) 水原：京大学位論文，1978． 4) 村本・藤田・田中：平成4年度土木学会関西支部年講．