

流木の比重に着目した土砂流と流木の混合物流れの実験的研究(その2)

日本工営株式会社 中央研究所 ○ 渡部春樹, 貝塚和彦, 伊藤隆郭, 西村茂樹

1. 結論: 清水流や土石流と共に流動する流木の挙動については、水路・水理模型実験によって検討がされている¹⁾。最近では、数値解析手法の検討が進み、流木個別の動きを模擬するものもある¹⁾³⁾が、流木群の個別の挙動と流木群の流動・閉塞との関連性を確率統計的に整理する必要があると思われるが、その種の解析には至っていないようである。一方、山地域、斜面および溪床堆積物からの流木の生産を想定すると、林分・林相の現状や今後の変遷を考慮し、針葉樹や広葉樹といった樹種、樹冠、太根といった形状の違いを検討する必要がある。水理実験においては、樹木の形状に関連する影響も定性的に再現が可能であるが、まずは、単純化された樹木・丸太に対する挙動の把握が必要である。著者ら⁴⁾は、樹木の形状を議論する前に、物性(生木状態の比重)の違いに着目し、針葉樹、広葉樹の違いを比重の違いとして捉え、清水流や掃流砂流に対して、針葉樹および広葉樹が、それぞれ、水に浮く樹木および水に沈むが流砂移動層に対して浮く樹木と見なした。流木が河道に閉塞することを想定して、川幅と流木長の比が1である条件のもとで掃流砂流を対象として、流木の流況・捕捉率や流木の偏走角(主流からのズレ角)に関する実験データを得て、針葉樹は流れに対して振れやすく、一方、広葉樹は流れに沿って流動しやすい結果を得た。本研究では、著者らの既往発表内容に加えて、河床勾配、流木の長さ、直径など河道の形状や単純化された流木の形状に関する影響をみるための水路実験を行い、流木群に流動に及ぼす流木比重の影響に関するデータを提供する。

2. 水路実験: 前報⁴⁾では、流木の発生・流下が調査された既往災害報告⁵⁾⁷⁾を参考にして、対象とする河床勾配を議論した。それによれば、扇状地の扇頂部での勾配は、概ね5°程度(約1/11)であり、扇頂部下流域の平均勾配は、約2~3°(=1/20)であった。前報では、河床勾配が2.58(deg.)の固定床開水路を用いた。ここでは、扇頂部での勾配を意識し、水路勾配が5.0(deg.)の固定床開水路を用いた実験を行った。なお、実験においては、流木・土砂の侵食による生産が顕著となるような現象を対象としない。使用した水路は、長さ10 m、幅20 cmの右岸片側が透明アクリル製の固定床の矩形断面開水路であり、水路勾配は5.0°(=1/11.4)に設定した。河床には、約5mmの砂礫を貼り付けて粗度とした。

清水流量は、水山ら⁸⁾が設定した条件と同様に、原型値で、流域面積:1.0km²、清水ピーク流量:25m³/sを想定し、模型縮尺 $\lambda_L=1/50$ とした。土砂量は想定する量は設定せず、勾配に対して平衡に土砂流が流下可能な輸送濃度($c_f=0.035$)を与えた。土砂(一様砂)の物理特性は、比重:2.63、静止堆積濃度:0.535、60%粒径 d_{60} :1.83 mm、内部摩擦角:37.4 deg.である。水理条件の一部を表-1に示す。また、針葉樹、広葉樹モデルは、前報⁴⁾と同様に設定し、前報の実験で用いた流木モデル(直径 d_d :0.61cm、長さ l_d :20.1 cm)と比較するために、次の形状を用いた。流木形状①:直径 d_d :0.6cm、長さ l_d :13.5cm、流木形状②:直径 d_d :0.3cm、長さ l_d :20.1cm。実験では、給木速度(給木量 1, 6, 10 logs/sec.)の違いや清水流・土砂流と流木との相互作用を定性的に評価することに主眼をおいた。上流端から給水、給砂を行い定常・等流の土砂流、清水流を流下させ、給木は、下流から約6mの位置において、給木方向の影響が現れないように、給木方向がランダムとなるように行った。下流端では、流出した流木量を計測し、鉛直上方、給木位置付近と水路側壁からビデオカメラを用いて流況を撮影した。流木の流向は撮影された映像から計測した。流木ダムが形成された時には、側壁から写真撮影を行った。

3. 流木の流下と捕捉: 河床勾配が5.0deg.のため、流木ダムが形成されることがあったものの、殆どのケースでは水路内で流木が捕捉されることは少なかった。そこで、ここでは、流木群の挙動と水路下流からの流出に関するデータを示す。なお、実施した実験ケースおよび流木捕捉率(=水路内の残留流木数/給木数)、流木ダムの形成の有無等に関するデータは発表時に示すこととする。

表-1 水理条件の一例(清水・模型値)

n (清水)	B (cm)	Q (l/s)	c_f	c	h_0 (cm)	h_0/d	τ_*	Fr	Re
0.0251	20.0	1.42	0.035	0.0793	1.17	6.39	0.343	1.79	7100

ここに、 n :粗度係数[m-s系]、 B :川幅、 Q :清水流量、 c_f :輸送濃度、 c :断面平均濃度、 h_0 :清水等流水深、 h_0/d :相対水深、 τ_* :無次元掃流力、 Fr :フルード数、 Re :レイノルズ数であり、粒径には d_{60} を用いた。

図-1a)~c)は、清水流と土砂流(掃流砂流を含む)における流木の流向の頻度分布であり、給木数が10 logs/sに対する比較である。なお、前報⁴⁾と比較するために、直径 d_d :0.6cm、長さ l_d :20.1cmの流木データも比較のために掲載し、水に浮く木製の流木モデルを用いた水原(1979)⁹⁾のデータも示している。図-1a)に見られるように、勾配の小さい場合には、流れの横断方向の影響を受けやすく、水に浮く針葉樹は、流れに対して振れやすいことが分かる。しかしながら、水に沈む広葉樹は主流れに沿って挙動しやすいことが分かる。

一方、図-1b)~c)をみると、樹種(針葉樹と広葉樹)の違いは現れており、水に沈む広葉樹は主流れに沿って流動しやすい特性は現れているが、水に浮きやすい針葉樹との違いはそれほど大きくないようである。すなわち、流木長が短い場合には、樹種の違いは顕著に現れずに、直進性が高い。他方、流木の直径が小さい場合には、勾配の大きい流れに関わらず、樹種(針葉樹と広葉樹)による違

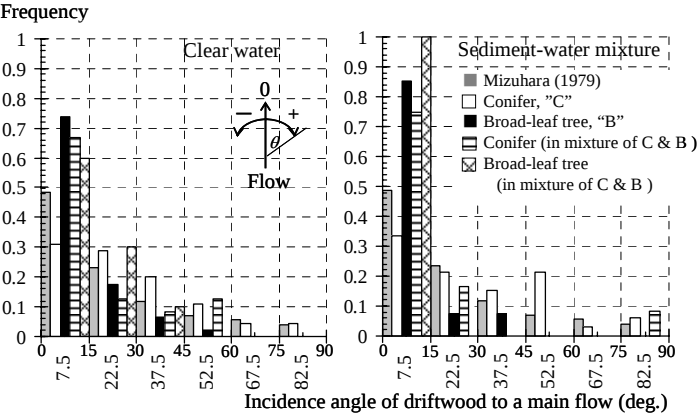


図-1a) 流木群の偏走角(流向)のヒストグラムの一例
(左:清水流, 右:土砂流のデータ, 直径 d_d :0.6cm, 長さ l_d :20.1cmの流木モデル, 河床勾配:2.58 deg.)

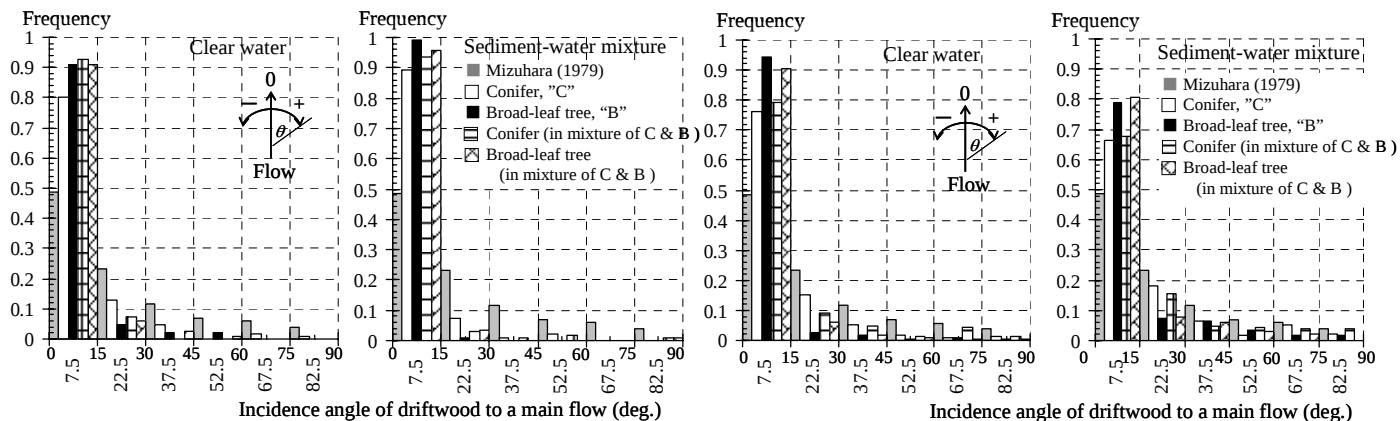


図-1b) 流木群の偏走角(流向)のヒストグラムの一例 (左:清水流, 右:土砂流のデータ, 直径 d_d : 0.6cm, 長さ l_d : 13.5cm の流木モデル, 河床勾配: 5.0 deg.)

図-1c) 流木群の偏走角(流向)のヒストグラムの一例 (左:清水流, 右:土砂流のデータ, 直径 d_d : 0.3cm, 長さ l_d : 20.1cm の流木モデル, 河床勾配: 5.0 deg.)

いは顕著に現れている。しかしながら、清水流と土砂流実験での流木群の挙動の違いが顕著に現れている。これは、土砂流の自由水面近傍に形成される清水流の影響を受けているものと思われるが、更なる検討が必要である。図-2は、水路下流端で計測した流出流木数の時間変化である。これによると、通

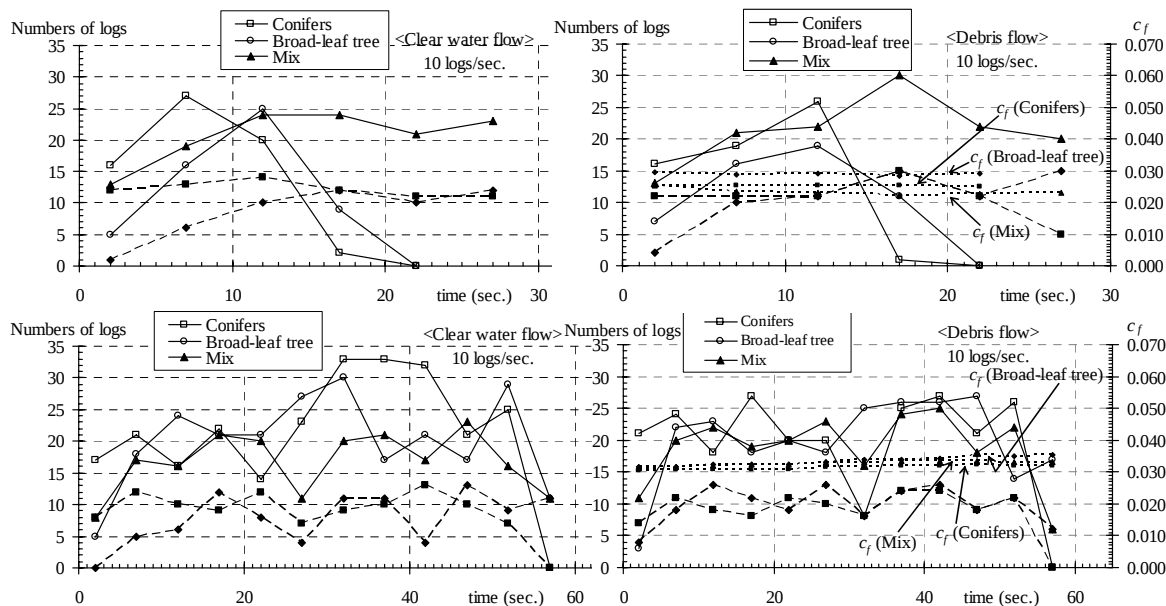


図-2 水路下流端で計測した流木群の流木数および土砂輸送濃度の時間変化(左:清水流, 右:土砂流)
(上:直径 d_d : 0.6cm, 長さ l_d : 13.5cm の流木モデル(相対流木長 22.5), 河床勾配: 5.0 deg, 下:直径 d_d : 0.3cm, 長さ l_d : 20.1cm の流木モデル(相対流木長 66.7), 河床勾配: 5.0 deg.)

水初期と通水最後を除いて、流木の相対流木長(直径に対する長さの比)が小さいものは、大きいものに比べて流出率が大きく、図-1b)~c)で見られる偏走角の結果が反映された結果となっている。

以上より、針葉樹の流向は広葉樹よりも広くばらつき、河道閉塞のトリガーになりやすいが、勾配の大小によりその平面的な特性が異なることが分かる。土砂流と清水流の違いをみると、針葉樹の流れには大きい違いが見られないが、広葉樹では、土砂の粒子移動層の形成によって、流向が流れに平行になるものが多い。その結果、広葉樹の流出量が多くなるばかりか、針葉樹・広葉樹の混合物および土砂流と流木の混合物が下流へ流下しやすい可能性があるようである。

4. 結論: 流木の比重の違いに着目して、清水流・土砂流と流木との流れについて実験データを用いて検討した。流れに及ぼす比重の影響は大きく、流木実験において、樹種による違いを考慮する必要があることが改めて明らかとなった。しかしながら、今回の実験において対象とした清水流・土砂流の実験においては、河床勾配が前報と比べて、ほぼ2倍であったためか、樹種(針葉樹、広葉樹)の違いによる流木の平面的な挙動に関する違いが明確に現れなかった。今後、河床勾配(重力)の影響も含め流木群の挙動に関する検討を行うと共に、樹種の異なる移動層、静水層、土砂の粒子移動層からなる多層構造に着目して、流木混入に伴う抵抗増加、流木ダム形成条件、水位・流速の縦断分布に関するデータを収集し、流木の時空間的な挙動の違いや抵抗則に関する検討を行う予定である。さらに、実験データが土石流の数値解析に反映可能なような抵抗則、流木閉塞条件、平面的な拡散、侵食・堆積に伴う連行項などに関する検討も行う予定である。流木群の流況の詳細な写真等のデータは、発表時に示す。

参考文献: 1) 河川環境管理財団: 流木災害軽減対策と河川樹木管理に関する総合的研究, 2008.11, 2) 中川ら: 京大防災研年報, 35B-2, 249-266, 1992, 3) 渋谷ら: 砂防学会誌, 63, 6, 13-22, 2002, 4) ITOH, T. et al.: Preliminary experimental studies on debris flow with woods focusing on differences of specific weight of tree species, International Journal of Erosion Control Engineering, Vol. 3, No. 1, 9-19, 2010, 5) 水山ら: 土木研究所資料, 2580号, 1988, 6) 水山ら: 土木研究所資料, 2704号, 1989, 7) 瀬尾ら: 土木技術資料, 26-2, 69-73, 1984, 8) 水山ら: 土木研究所報告, 183, 71-156, 1991, 9) 水原ら: 新砂防, 113, 10-16, 1979.