

樹種の異なる流木を伴う流れの拡散特性に関する実験的研究

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. はじめに：流木を伴う流れで災害に繋がる可能性の高い代表的な素過程は流木閉塞による流木ダム¹⁾の形成・決壊や河川域での橋脚等における閉塞と水位せき上げであろう。これらの災害を未然に防ぐために、流木の流動は以前から着目されており²⁾、最近では、流木の流動の素過程を把握するために、水に浮く流木を対象として、流木群の流動や流木捕捉工への閉塞に着目して、水理実験^{1),3),4),5)}や数値解析^{3),9),11),12)}が行われている。流木に関する既往研究において、流木閉塞に関連するパラメータは、流木径や長さ¹⁾、樹冠^{10),11)}、根系^{1),4)}、などの形状に関するものが主であり、樹種の違いについては殆ど着目されておらず、水に浮く流木モデルが用いられてきた。

著者らは、流木の流動に関する基礎的な情報を得るべく流木の形状は円柱で単純化し、針葉樹や広葉樹の物性の違いを比重の違いとして捉え、針葉樹は、水に浮き、偏走角の分布が広く、流木ダムのトリガーになり易く、広葉樹は水に沈むため、流れに平行に移動し易いことを示し⁶⁾、河床勾配が大きくなると、樹種の平面的流動形態に対する影響が小さくなることを実験的に示してきた^{7),8)}。今後、実験データを用いて流木群の質量保存則に対して、侵食・堆積率を考慮した移流・拡散方程式を用いた解析を念頭に置いて、流木群の挙動に及ぼす比重の影響を考慮し、みかけの拡散係数を求めるために、流木比重の流木群の拡散・分散特性に及ぼす影響を実験的に検討した。

2. 固定床上の水路実験：

表-1 水理条件の一例（清水，模型値）

長さ：10m，幅：20cm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を用いた。河床には、約5mmの砂礫を貼り付けて	θ (deg.)	n (清水)	B (cm)	Q (l/s)	cf	c	h_0 (cm)	h_0/d	τ^*	Fr	Re
	2.58	0.0187	20.0	1.43	0.011	0.049	1.26	6.88	0.190	1.61	7102

ここに、 θ ：勾配， n ：粗度係数[m-s 系]， B ：川幅， Q ：清水流量， cf ：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

粗度とした。水山らが設定した条件と同様に、模型縮尺：1/50，流域面積：1.0km²，清水ピーク流量：25m³/sの定常流とした。給水量は流域面積より500本とし、給木速度は流木同士の相互作用が現れやすい条件を想定し、前報^{6),8)}の最大値である10(logs/sec.)とした。水路勾配は扇頂部下流域の平均勾配である2～3°を対象として2.58°(1/22.2)に設定し⁸⁾，土砂は一様砂で比重：2.63，粒径 d_{50} ：1.83mm，給砂量は勾配に対して平衡状態となるように輸送濃度($cf=0.011$)を与えた。流木モデルは、①長さ l_d ：20.1cm，直径 d_d ：0.3cm ($l_d/d_d=67$) ②長さ l_d ：13.5cm，直径 d_d ：0.6cm ($l_d/d_d=22.5$)の2形状とし、針葉樹の比重は0.935～0.952，広葉樹は1.18～1.20である。なお、前報^{6),7)}より、粒子移動層、清水層と流木の相互作用をみるために、流れは土砂流を対象とした。給木は水路下流端から6m位置よりランダムに落下するように行い、給砂は水路最上流端に開口部を調節することで輸送濃度の設定が可能なホッパーを設置し、自動的に行った。なお、流木が追跡できるように水路最上流端、水路側壁、下流端から2m付近の直上にビデオカメラを設置し、撮影した動画から画像解析を行った。また、水路最下流端でバケツを用いて流木および土砂流出量を計測した。本実験で用いた水理条件の一部を表-1に示す。

3. 流木群の移動特性

(1) 偏走角分布：流木が流動する際の流下方向に対する向きを示すものとして偏走角があるが、ここでは勾配が2.58°の分布を図-1に示す。これは土砂流における流木の流下方向に対する流向の頻度分布である。前報⁷⁾では勾配が5°であったため樹種(比重)による違いはあまり見られなかった。図-1をみると流木長や流木径に関する形状差があっても樹種(比重)による偏走角の違いがみられる。つまり、針葉樹は流れ方向に対してある程度の角度を持って流動し、一方で広葉樹は流れに対して平行に流動するという傾向がある。また、流木の形状差による偏走角の違いをみると針葉樹・広葉樹共に流木の l_d/d_d (相対長さ)が大きくなるにつれ偏走角分布が緩やかになっており、流木が流下する際に流れに対する角度をもって流動しやすくなることを示している。

(2) 重心位置の軌跡：流木の重心の軌跡を図-2，図-3に示す。図-2，図-3は流下方向へ流木の重心を追跡したものである。図-2，図-3より流木が下流へ流下するに従い横断方向に広がりながら移動していくことがわかる。樹種(比重)別でみると針葉樹は広葉樹よりも横断方向への移動幅が大きく、比重が影響しているようである。つまり、比重

表-2 実験ケースと流木捕捉に関する実験結果(模型値)

θ (deg.)	feeding speed of driftwoods	流木形状 $d_d=0.3\text{cm}$, $l_d=20.1\text{cm}$ ($l_d/d_d=67$)			流木形状 $d_d=0.6\text{cm}$, $l_d=13.5\text{cm}$ ($l_d/d_d=22.5$)		
		Sediment water mixture flow			Sediment water mixture flow		
		Conifer (total:500logs)	Broadleaf (total:500logs)	Mix(C : B=1:1) (total:500logs)	Conifer (total:130logs)	Broadleaf (total:120logs)	Mix(C : B=1:1) (total:250logs)
2.58	10(logs/s)	Run1 109 (0.214)	Run2 402 (0.802)	Run3 C: 181 (0.724), B: 193 (0.772) / total: 374 (0.748)	Run4 0 (0)	Run5 0 (0)	Run6 C: 0 (0), B: 0 (0) / total: 0 (0)

との相関があり、比重が小さくなるにつれて横断方向への移動幅も大きくなっている。これは偏走角との関係もあり、流木が流下する際の回転運動が横断方向への移動幅に与える影響があると考えられるからである。偏走角分布は l_d/d_d (相対長さ)が大きくなる、または河床勾配が緩やかになると広がりやすくなるため、それに伴い横断方向への移動幅も大きくなっていることが図-2、図-3よりわかる。なお、本項に関する流況やデータは発表時に示す。

(3)流出量と捕捉率: 表-2に実験ケースと流木捕捉に関する実験結果を示す。勾配が小さくなったため偏走角が大きくなり、 B/l (流木長さ l に対する川幅比 B)が1の状況では水路内で流木が捕捉された。なお、広葉樹の偏走角は針葉樹の偏走角より小さいにも関わらず捕捉率が大きくなっている。これは流砂の移動層が小さく、流木群が河床粗度の影響を受けて流木閉塞がしやすい状況となったためと考えられる。図-4は水路最下流端で計測した流木流出量および土砂の輸送濃度の時間変化を示したグラフである。長さ $l_d=20.1\text{cm}$ 、直径 $d_d=0.3\text{cm}$ ($l_d/d_d=67$)の場合は閉塞が起こるため流木流出量が減少していく箇所が見られ、それと同時に土砂輸送濃度も減少している。これは、閉塞が決壊した場合には流木を含む大量の土砂流出が下流域に起こる危険性があることを示している。

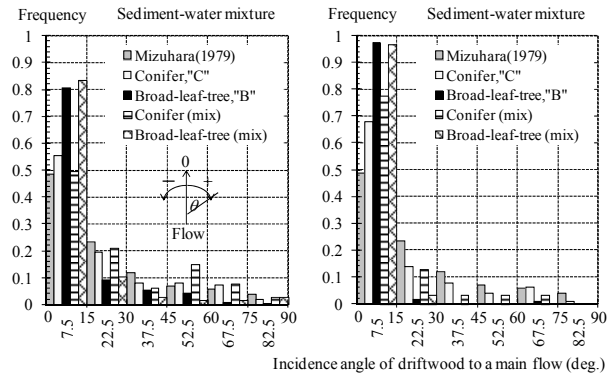


図-1 流木群の偏走角のヒストグラム
(左: 直径 $d_d=0.3\text{cm}$, 長さ $l_d=20.1\text{cm}$, $l_d/d_d=67$,
右: 直径 $d_d=0.6\text{cm}$, 長さ $l_d=13.5\text{cm}$, $l_d/d_d=22.5$)

これによると流木群の横断方向への移動は、比重(樹種)や相対長さおよび河床勾配の影響が大きいことがわかった。偏走角が大きくなる条件としては、①比重が小さい(水に浮く針葉樹) ②勾配が小さい ③流木の l_d/d_d (相対長さ)が大きいことが挙げられる。今後、実験データを用いて、みかけの拡散係数を求め、移流・拡散方程式のモデル化を行うと共に、流木捕捉工の捕捉率に及ぼす流木比重に関する検討を行う予定である。

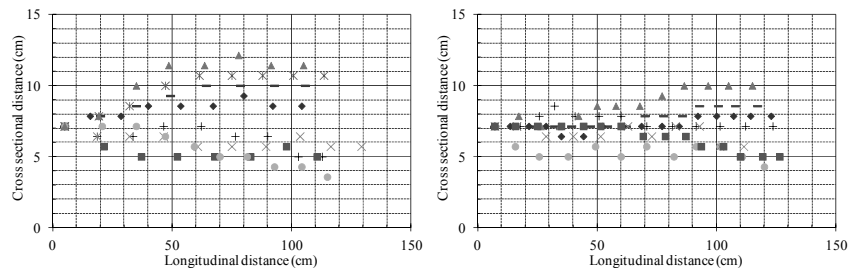


図-2 流木中心位置の移動の軌跡
(左: 針葉樹, 右: 広葉樹, 直径 $d_d=0.3\text{cm}$, 長さ $l_d=20.1\text{cm}$, $l_d/d_d=67$)

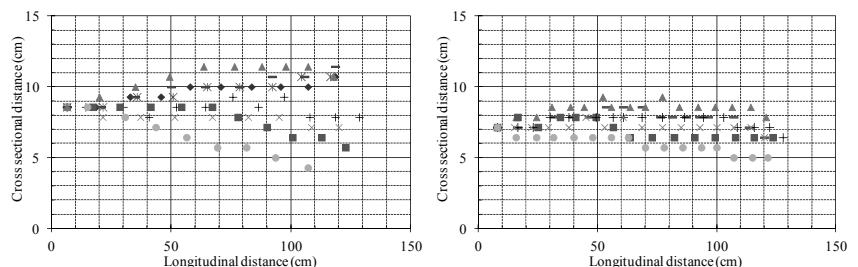


図-3 流木中心位置の移動の軌跡
(左: 針葉樹, 右: 広葉樹, 直径 $d_d=0.6\text{cm}$, 長さ $l_d=13.5\text{cm}$, $l_d/d_d=22.5$)

参考文献 1) 水山ら: 土研報告, 183, 71-156, 1991, 2) 水原ら: 新砂防, 113, 10-16, 1979, 3) 中川ら: 京大防災研年報, 35B-2, 249-266, 1992, 4) 渋谷ら: 砂防学会誌, Vol.63, No.3, 34-41, 2010, 5) 渋谷ら: 構造工学論文集, Vol.57A, 1087-1094, 2011, 6) ITOH, T. et al.: Int. Jour. Ero. Contr. Eng, Vol.3, No.1, 9-19, 2010, 7) 渡部ら: 平成23年度砂防学会研究発表会概要集, 398-399, 2011, 8) WATABE et al.: Int. Symp. Natural Disas. Prev., Tainan, 45-53, 2011, 9) 渋谷ら: 土木学会論文集A2, Vol.67, No.1, 113-132, 2011, 10) 藤田ら: 京大防災研年報, 36B-2, 465-485, 1993, 11) 清水ら: 水工学論文集, Vol.51, 829-834, 2007, 12) 後藤ら: 水工学論文集, Vol.51, 835-840, 2007.

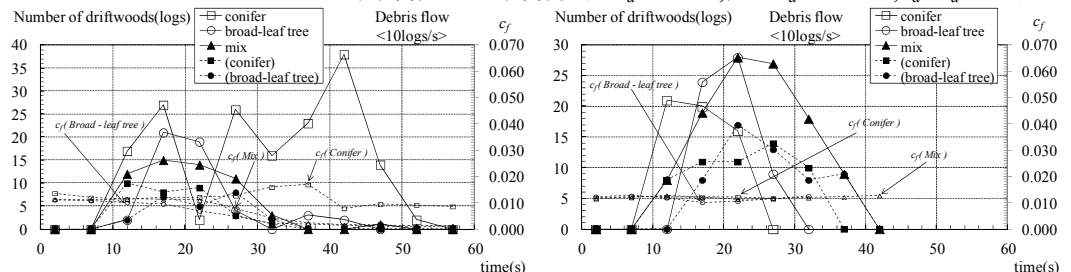


図-4 流木流出量と輸送濃度の時間変化
(左: 直径 $d_d=0.3\text{cm}$, 長さ $l_d=20.1\text{cm}$, $l_d/d_d=67$, 右: 直径 $d_d=0.6\text{cm}$, 長さ $l_d=13.5\text{cm}$, $l_d/d_d=22.5$)