

1. はじめに

土石流とともに流下してくる多量の流木によって下流にある人家や橋梁等の被害が増大する例は多く^{1)・2)}、土石流対策とともに流木対策も重要である。しかしながらわが国では流木対策施設を設置している箇所は極めて少なく、流木対策は土石流対策に比べて遅れているのが現状である。この大きな原因として流木の発生、流下、堆積機構が十分に解明されていないことと、流木対策施設の設計基準が作成されていないことが考えられる。

筆者らは流木の発生及び流下機構に関連して水路実験を行い、流木の移動・停止条件、狭窄部の流木の通過、停止機構について基礎的な検討を行ったのでその概要を報告する。

2. 流木の移動、停止条件

2.1 実験概要

実験には長さ5m、幅20cm、深さ40cmの側面アクリル板付きの木製水路を用い、水路の底は平均粒径1.2mmの砂を貼り付けた固定床とした。水路勾配は $0^{\circ} \sim 20^{\circ}$ の範囲で可変とし実験条件に応じて変化させた。流木の模型としては直径15mm、長さ10cmの円筒状の木材を用いた。流木の模型の比重は0.98であった。また流木模型の水路固定床に対する水中での摩擦角は 25° であった。

実験は流量を0.3、0.7、1.0、1.3 ℓ/S として各段階で水路勾配を $0^{\circ} \sim 20^{\circ}$ まで徐々に変化させて水路に置いた流木が移動するか否かを観察し、合わせて流路上の水深を測定した。流木の水路上への設定方向は原則として流向と平行としたが、流量が0.3 ℓ/S の場合のみ移動が始まる最小の角度だけ流向より傾けて設置しそ

の角度を測定した。

2.2 移動、停止条件

流量0.3 ℓ/S における水路勾配と流木が移動を開始する時の流向方向に対する最小の流木の傾き(ϕ)との関係を図-1に示す。傾き ϕ が大きくなると流木の受ける流体力が増すとともに、流木がころがりにより移動し易くなる

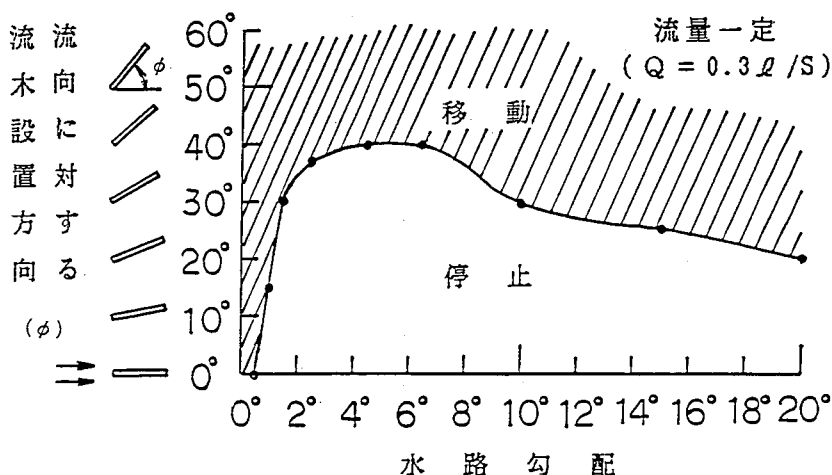


図-1 流木設置方向による移動限界

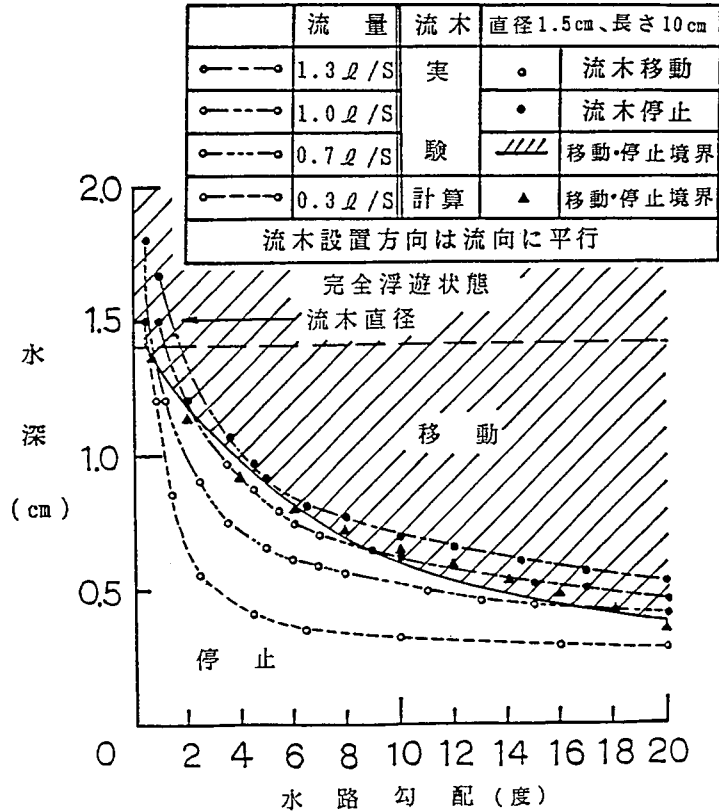
ため、全体的に移動し易くなる。従って図-1より流量一定の時は水路勾配が5°付近で最も流木が移動し難い、すなわち堆積し易いことが分かる。

次に流木の傾きを $\phi = 0$ とした場合、すなわち流向と平行に流木を置いた場合について検討する。流量を0.3、0.7、1.0、1.3 l/Sと4段階に変化させて、各段階での水路勾配と水深の関係及び流木の移動と停止の範囲を図-2に示す。

比重が水よりも小さな（すなわち水に浮く）流木の受ける流体力 F と抵抗力 R は次式で示される。

$$\left. \begin{aligned} F &= C A \frac{\rho v^2}{2} \approx \frac{C A \rho}{2 n^2} H^{4/3} I \\ R &= \left(\frac{\pi d^2}{4} \sigma - \rho A \right) g l (\mu \cos \theta - \sin \theta) \end{aligned} \right\} \text{----- (1)}$$

ここで、 F ：流向に平行に設置された流木の受ける流体力(gf)、 C ：抵抗係数、 A ：流水の当たる部分の流木の断面積（水中部分の断面積、 cm^2 ）、 ρ ：水の密度($\text{gf} \cdot \text{s}^2 / \text{cm}^4$)、 v ：流水の平均流速(cm/s)、 n ：マニング型の粗度係数($\text{s/cm}^{1/3}$)、 h ：水深(cm)、 I ：水路の勾配、 R ：流木の抵抗力(gf)、 d ：流木の直径(cm)、 σ ：流木の密度($\text{gf} \cdot \text{s}^2 / \text{cm}^4$)、 g ：重力加速度(cm/s^2)、 l ：流木の長さ(cm)、 μ ：流木の水中での摩擦係数、 θ ：水路の勾配（角度）である。



流木の移動条件は $F \geq R$

図-2 水路勾配、水深と流木の移動、停止条件

であるから次式により流木の移動と停止の境を求めることができる。

$$\frac{C A \rho}{2 n^2} h^{4/3} I = \left(\frac{\pi d^2}{4} \sigma - \rho A \right) g l (\cos \theta - \sin \theta) \text{----- (2)}$$

これを解くことにより水深： h と水路勾配： θ の変化に伴う流木の移動、停止境界を求めることができる。このようにして得た計算結果を図-2に▲印で示す。

図-2より式(2)を用いることにより流木の移動、停止境界を求めることができる。

3. 狭窄部における流木の通過と停止に関する実験

3.1 実験の概要

実験は流木の移動、停止条件で用いた水路と同じ水路を用いたが、ここでは水路の中に厚さ1.8cm、高さ20cmのラワン合板を水路上流端より4.0mの位置に設置し狭窄部（幅2、4、8、12cm）とした。流木の模型としては直径と長さがそれぞれ0.8-5 cm、0.8-10cm、1.5-5 cm、及び1.5-10cmの4種類の円筒状の木材をそれぞれ100本ずつ用いた。実験を通じて流木模型の比重は0.95~0.98であった。

実験は水路勾配を5°と10°の2種類として各勾配で流量を1.0ℓ/s、1.35ℓ/s、1.7ℓ/sの3種類に設定した。これらの流量に対して、水路の上流端より0.5mの位置において同一の大きさの流木模型を100本ずつ投入して水路を流下させ、狭窄部における流木の捕捉本数及び狭窄部直上流における水位を測定した。

3.2 狭窄部における流木の通過・停止

狭窄部における流木の通過・停止に関して、狭窄部の流木捕捉率（T）を次のように定義する。

$$T = \frac{\text{狭窄部により捕捉された流木本数}}{\text{水路に投入した流木本数 (=100本)}} \quad \text{----- (3)}$$

狭窄部の幅wと流木の長さℓの比と流木捕捉率Tとの関係を図-3に示す。w/ℓが減少すると捕捉率Tが上昇する傾向が明確に認められる。

次に同様の実験結果を流木止スクリーン、スリットによる流木の捕捉率を算定する式³⁾にならって $Fr \cdot \Theta = Fr \cdot h w^2 / d \ell^2$ と捕捉率Tとの関係に整理し

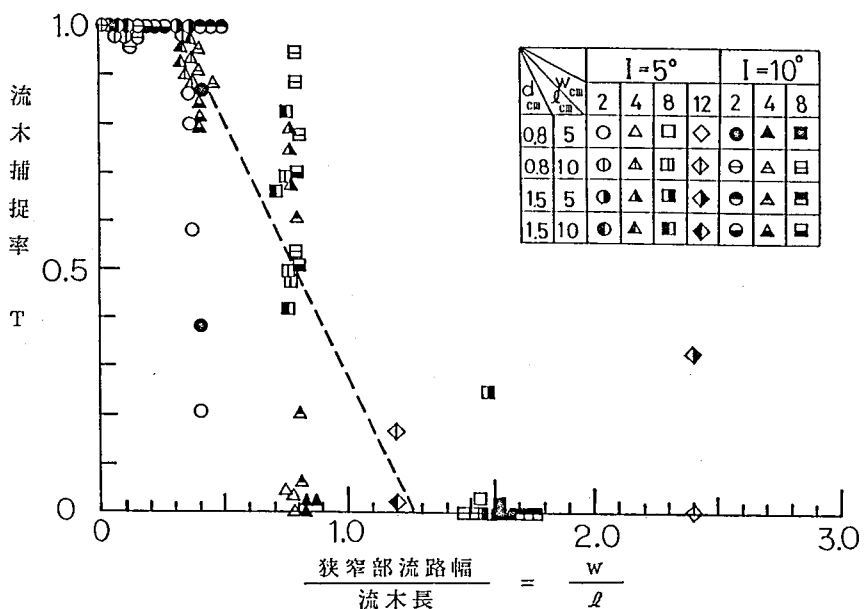


図-3 w/ℓと流木捕捉率T

た結果を図-4に示す。ここで Fr : フルード数、 $\Theta = h w^2 / d \ell^2$ 、h : 狭窄部直上流の水深(m)、w : 狭窄部の幅(m)、d : 流木の直径(m)、ℓ : 流木の長さ(m)である。

この図より狭窄部における流木の捕捉率Tは次式により算定できる。

$$\left. \begin{array}{ll} Fr \cdot \Theta \leq 0.1 & \text{のとき } T \approx 1.0 \\ 0.1 < Fr \cdot \Theta < 1.0 & \text{のとき } T = \log(1/Fr \cdot \Theta) \\ 1 \leq Fr \cdot \Theta & \text{のとき } T \approx 0 \end{array} \right\} \quad \text{----- (4)}$$

図-4よりF

$r \cdot \theta$ が同一の時、水路における狭窄部における流木の捕捉率は柵状の流木止による捕捉率よりかなり小さい。実験を通じて狭窄部直上流でのフルード数は0.08

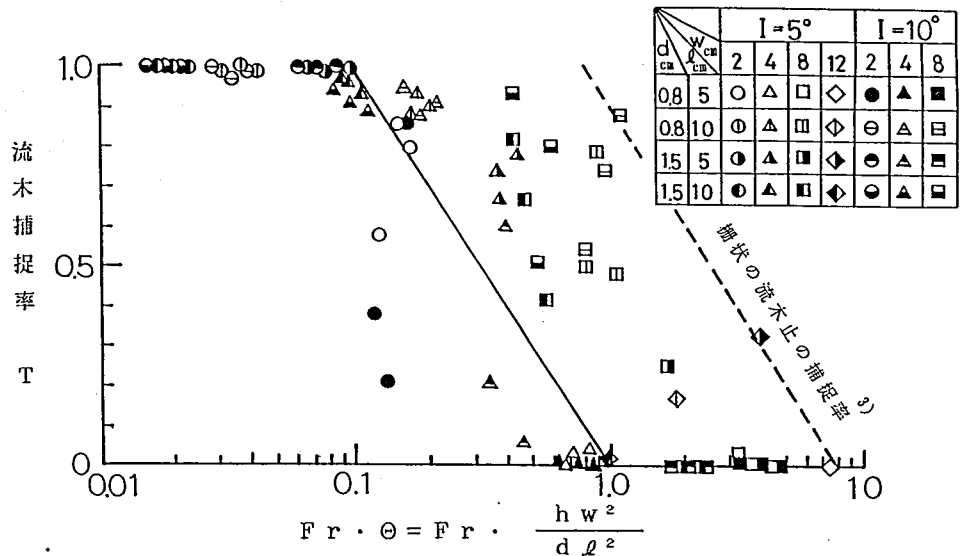


図-4 $Fr \cdot \Theta$ と流木捕捉率の関係

～0.43、レイノルズ数は3,800～6,400であった。

4. まとめ

水路実験及びその結果の検討より以下の知見を得た。

(1) 渓床上の流木の移動開始条件のうち主要なものは次の3条件である。

- ① 流木の軸方向と流向のなす角 (ϕ)
- ② 渓床勾配 (θ)
- ③ 水深 (h)

ϕ , θ および h とも大きくなる程流木は移動を開始し易くなる。流量及び川幅が一定の時は渓床勾配が5°付近で流木は最も移動し難い。なお θ と h の関係から移動開始と停止の境界を与える計算式を示した。

(2) 流路中の狭窄部における流木の通過・停止に関して 狭窄部における流木捕捉率 T と流木の大きさ、水力条件との関係を水力実験により求めた。 $\Theta = hw^2/d\ell^2$ および Fr をフルード数とすると捕捉率 T は $Fr \cdot \theta$ の関数として表すことができた。特に捕捉率 T は狭窄部の幅 w と流木長 ℓ により大きく左右され $w/\ell \leq 0.3$ では $T \approx 1.0$ となり $w/\ell \geq 1.3$ では $T \approx 0$ となることが実験結果より明かとなった。

以上の知見が現場での流木対策の計画策定等に役立てば幸いである

参考文献

- 1) 渡辺正幸、水山高久：地域防災の立場から長崎災害を考える、新砂防、第36巻、第1号、砂防学会、pp.27～29、1983年7月
- 2) 石川芳治、水山高久、鈴木浩之：崩壊・土石流に伴う流木の実態と調査法、土木技術資料、第31巻、第1号、pp23～29、1989年1月
- 3) 水山高久、石川芳治、矢島重美：透過型砂防ダムによる流木捕捉効果、土木技術資料、第30巻、第11号、pp 47～52、1988年11月