

講演

## 流木災害と対策

東京農工大学名誉教授 石川 芳治



### 1. はじめに

山地において山腹斜面崩壊、土石流等が発生すると崩壊部や侵食部に生育している樹木は土砂とともに溪流を流下する。また、山地や河川域では土石流や洪水による溪畔域・河畔域の侵食や崩壊等に伴い樹木が流木になって流下する。このような流木により引き起こされる災害形態を大きく分類すると、

- ①流木が橋梁・カルバート、水路等に詰まることにより土石流や洪水が河道から溢れて周辺や下流の人家、施設等に被害を与える (写真-1、-2)。
- ②流木が橋梁に詰まって上流で土石流や洪水がダムアップしこれらによる流体力や水圧により橋梁が押し流される (写真-3)。
- ③取水堰、貯水ダムおよび放水路の取水口や放水口に流木が詰まって取水機能や放水機能を低下させる。
- ④流木の衝突による衝撃力により家屋あるいは河川に設置してある構造物等を破壊する。
- ⑤貯水池等に貯って一部は沈積する。これらは腐敗し水質や景観を損ねる。
- ⑥海に流出して船舶の航行の障害となり、海岸に漂着してゴミとなる。

これらのうちでも特に山地・溪流部において多く発生し、人命等への危険性が高く被害も大きいのは①の被災形態である。

我が国における流木災害は特に大河川において1940年代およびそれよりも以前から発



写真-1 2017年九州北部豪雨による大肥川支川宝珠山川における流木による橋梁の閉塞と洪水の氾濫



写真-2 1999年広島災害における荒谷川での流木による橋梁の閉塞と土石流の氾濫



写真-3 1986年京都府南部災害における流木による白砂川の西奥橋の閉塞と流出

生していたが(荻原、1962)、最近は、広島災害(1988、1999、2014、2018)、熊本県一宮町災害(1990)、伊豆大島大金沢災害(2013)、九州北部豪雨災害(2017)等のように、特に山地溪流において多く発生している。この原因としては次のような社会および自然条件の変化が考えられる。

- ①近年、都市の近くでは山地溪流の出口付近における宅地開発が進み被害を受けやすい家屋や施設が増加している。
- ②山地溪流に架かる丈夫な鉄筋コンクリート製の小橋梁やボックスカルバートが増加した。
- ③1950～1960年代に植林された人工林および伐採されなくなった里山の広葉樹が成長してきており、蓄積(材積)、樹高、直径が増大している。
- ④最近、局地的で降雨強度が大きい豪雨が頻発するようになった。
- ⑤山地溪流に砂防・治山施設が整備されつつあり、このような溪流では対策の遅れている流木災害が目立つようになった。

流木災害を軽減するためには従来からの土砂災害対策と併せて流木対策を積極的に進める必要がある。

## 2. 山地・溪流部における流木の発生形態と発生量

山地溪流における流木の発生・流下形態を図-1に示す。山地溪流における流木の発生原因としては、図-1に示すように溪流の源頭部(0次谷)における斜面崩壊に伴う立木の滑落とその下流での土石流の流下による溪床・溪岸の浸食に伴う立木の流出がある。流木の流下形態としては、溪床勾配が急な土石流区域では土石流となって土砂と流木が混じって一体となって流下するものと考えられる。一方、溪床勾配が緩い掃流区域では、土砂は溪床付近を、流木は水面付近を浮いた形で別々に流下すると考えられる。このような

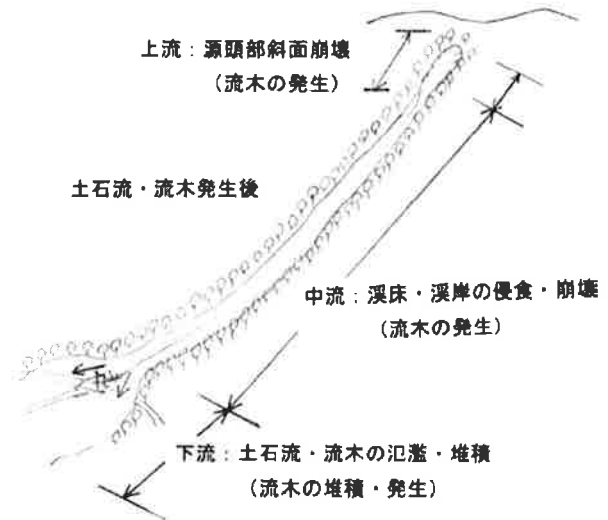


図-1 山地溪流における流木の発生・流下形態模式図

流木の流下形態の違いは流木捕捉施設の計画や設計に反映される。すなわち、土石流とともに流下する流木は土砂・巨礫と一体として捕捉することになり、掃流区域では流木は土砂とは分離して捕捉することが基本となる。

過去の主な流木災害における溪流毎の流域面積( $\text{km}^2$ )と流域内での発生流木量(幹材積; 樹幹の体積)( $\text{m}^3$ )の関係を図-2に示す(建設省、2000)。図-2には2017年の九州北部豪雨による各溪流での概略の分布範囲も斜線で示す(国土交通省、2017)。図-2より流域面積が増大すると発生流木量も比例して増大することが分かる。流域面積が同一の場合、針葉樹林の方が広葉樹林よりも発生流木幹材積が多いことが分かる。これは、一般に、針葉樹(人工林)の方が広葉樹(天然林、二次林)に比べて、単位面積当たりの幹材積が多いためである。また、最近、流域面積当たりの発生流木量が増加している傾向が認められる。これは、我が国における単位面積当たりの森林の蓄積量が年々増加していることが一つの理由である。例えば、人工林における平均の蓄積量は1966年では $71\text{m}^3/\text{ha}$ であったものが、2012年では $295\text{m}^3/\text{ha}$ と約4倍に増加している。図-3には山地溪流における生

産土砂量と発生流木幹材積 (m<sup>3</sup>) の関係を示す (石川他、1989; 建設省、2000)。発生流木幹材積 (m<sup>3</sup>) の上限値は斜面崩壊や土石流による生産土砂量 (m<sup>3</sup>) の約2%であることが分かる。これは、斜面崩壊や土石流に伴う溪岸・溪床の侵食により移動する表層土の厚さは1m程度であるため、例えば崩壊地1ha当たりの生産土砂量は約1万m<sup>3</sup>であり、これに対して人工林の場合の蓄積量が約295m<sup>3</sup>であることから妥当な値といえる。

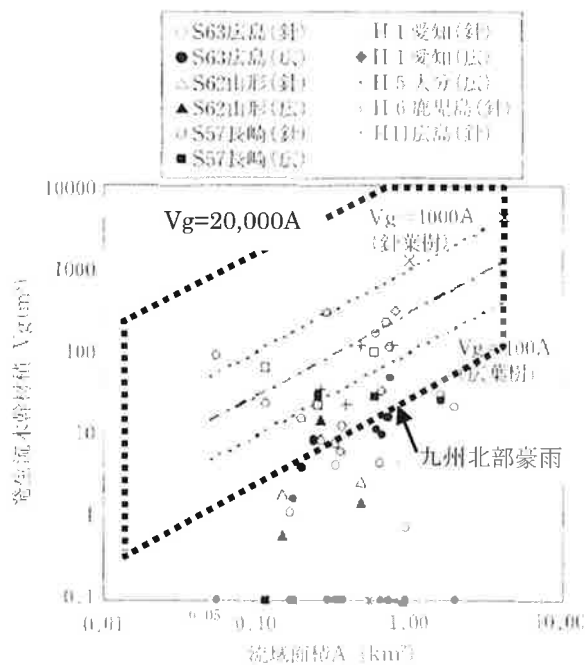


図-2 流域面積と発生流木幹材積, 斜線部は九州北部災害 (2017) 時の溪流の分布 (国土交通省、2017 を加筆)

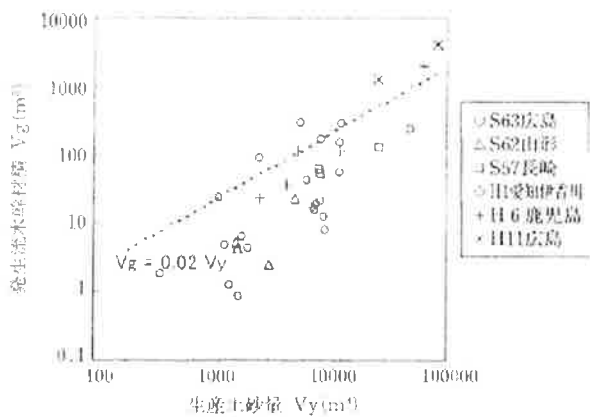


図-3 生産土砂量と流木発生幹材積

### 3. 溪流における流木の移動、停止と谷の出口への流出率

溪流における流木の移動、停止の基本を理解するために、流路内での流木の移動に関する水理模型実験を行った。流量を0.3 l/sと一定にした場合の、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 ( $\phi$ ) との関係を図-4に示す。傾き  $\phi$  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ため、全体的に移動し易くなる。図-4によれば水路勾配が5°付近において、流木移動のための流木設置角度  $\phi$  は最も大きく、すなわち、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、言い換えれば堆積し易いことが分かる。以上より溪床上の流木の移動開始条件のうち主要なものは流木の軸方向と流向のなす角 ( $\phi$ )、溪床勾配 ( $\theta$ ) および水深 ( $h$ ) である。 $\phi$ 、 $\theta$  および  $h$  も大きくなるほど流木は移動し易くなる傾向がある。流量及び川幅が一定の時は溪床勾配が5°付近で流木は最も移動し難い。流路中の狭窄部における流木の通過・停止に関する水理模型実験を行い狭窄部における流木捕捉率 (狭窄部において捕捉された流木の本数/狭窄部まで流下してきた流木の総本数)  $T$  と、狭窄部の幅  $w$  に対する流木の長さ  $l$  の比、との関係を求めた結果を図-5に示す。狭窄部における流木捕捉率  $T$  は狭窄部の幅  $w$  と流木長さ  $l$  により大きく左右され  $w/l \leq 0.3$  では  $T$

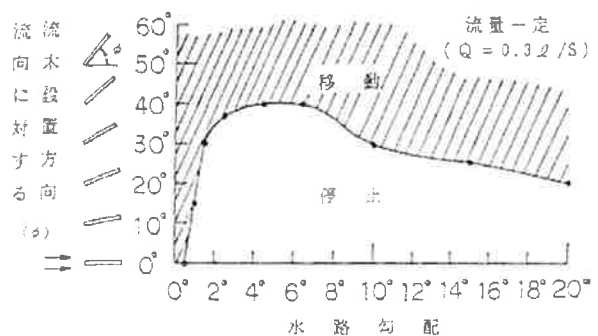


図-4 水路内における流木の移動と停止条件

$\approx 1.0$  となり、 $w/l \geq 1.5$  では  $T \approx 0$  となった。

1988年の広島災害の8溪流の流木発生源での立木の平均長さ、下流に堆積した流木の平均長さおよび各溪流の土石流流下幅を調査した結果を図-6に示す。流木の長さは発生源の立木の長さの約1/2~1/3であり、流木の平均長は土石流の流下幅の最小値(狭窄部の幅)とほぼ同じであった(石川他1989a, 1989b)。図-7に示すように27溪流における山地流

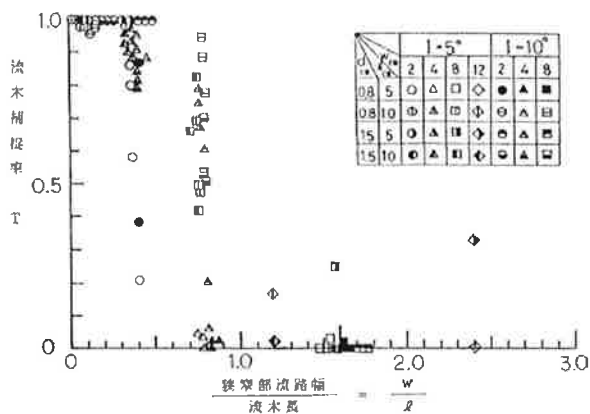


図-5 水路狭窄部における(狭窄部流路幅/流木長)と流木捕捉率の関係

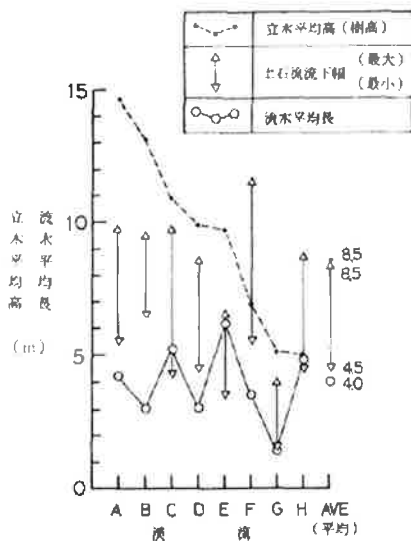


図-6 1988年広島災害の8溪流における流木発生源での立木の平均長さ、下流に堆積した流木の平均長さおよび各溪流の土石流流下幅

域で発生した流木のうち谷の出口まで流出した流木の割合(流出率)は各溪流によりバラツキは大きいものの、施設がない場合は約50~90%であった(石川他, 1989a, 1989b)。

流木が溪流の狭窄部に達すると狭窄部で流木が捕捉・停止されていわゆる流木ダムが形成される。1982年の長崎災害では、芒塚川の支流の中流部において流木の停止、堆積に伴い形成されたと考えられる流木ダムが認められた。北海道沙流川の小支流、パラダイ川でも多数の流木ダムが形成された(清水, 2009)。

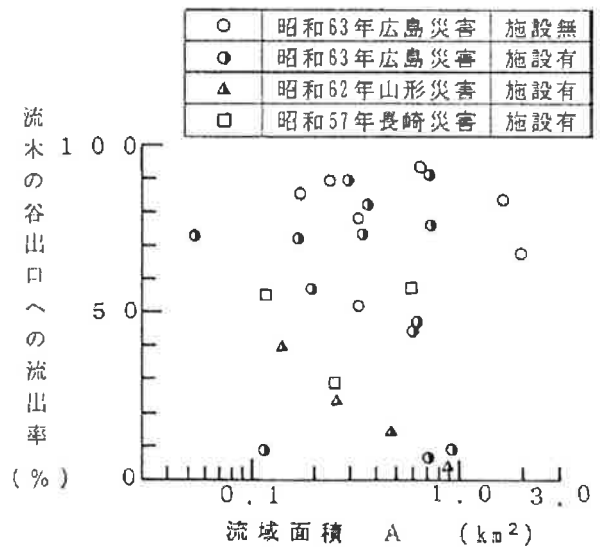


図-7 溪流の谷出口への流木の流出率

#### 4. 扇状地における流木の堆積と橋梁の閉塞

##### 4.1 水理模型実験による扇状地における流木の堆積特性

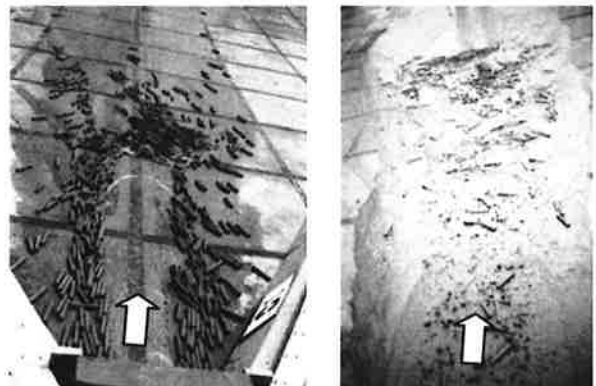
扇状地内において流木が土石流とともに流下する場合と洪水(清水)とともに流下する場合に分けて水理模型実験(写真-4)を行い、扇状地上での土砂と流木の堆積形態の相違を検討した(石川他, 1991)。両方に共通する現象として(単位幅)流量が増加すると流木はより下流まで流出し、堆積することがわかった。扇状地上での流木の堆積過程については、洪水(清水のみ)とともに流下した流木はまず扇頂部の左右岸に、長軸をほぼ流向

と平行にして堆積を開始し、下流方向へ堆積範囲を広げ、ある河床勾配からは一転して堆積遡上が始まって流木堆積は上流へ広がる現象が認められた (写真-5 (a))。一方、土石流とともに流下した流木は土石流の先頭部に流木が集中して扇状地を流下し、土石流の先頭部の停止により流木も急速に速度を落として土石流先頭部よりも若干下流に停止堆積した (写真-5 (b))。その後土砂の堆積遡上現象とともに流木も堆積遡上を起こすことが認められた。すなわち洪水では扇頂部から下流へ、土石流では扇状地中部から上流へ堆積が進行した。土石流とともに流木を流下させた場合の扇状地模型上での土砂と流木の縦断方向の堆積分布を図-8に示す (石川他、1991)。扇状地内の水路に流木止めを設置し

た実験では流木が清水とともに流下する場合には、扇状地内水路に設置された流木止めの効果は十分に発揮される。しかしながら、土石流とともに流木が流下する場合、特に流木止めで貯留できない程多量の土砂が流下する場合には、土砂が流木止め上流に堆積して流木止めを閉塞し、大部分の流木及び土砂は流木止めを越流してしまい流木止めの効果は少ないことがわかった。



写真-4 扇状地における流木の堆積に関する水理模型実験状況、扇状地部の長さは12m、幅は10.6m、勾配は0.5°～10°、上流水路部は長さ14m、幅20cm、勾配は12°～30°



(a) 洪水 (清水) により運ばれた流木 (b) 土石流とともに流下した流木

写真-5 扇状地における流木の堆積状況

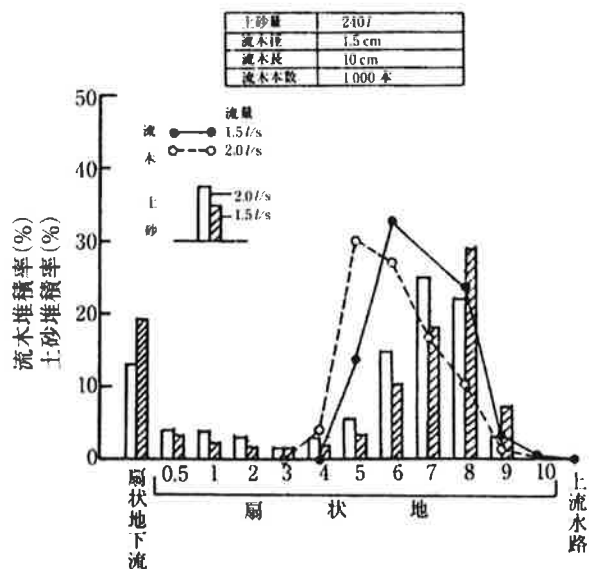


図-8 水理模型実験による扇状地模型上での土砂と流木の縦断方向堆積分布 (給水量 1.5 l/s と 2.0 l/s の場合) (石川他、1991)

### 4.2 扇状地における流木の堆積実態

1988年7月の広島災害では約20の溪流で土石流が発生した。ここでは一例として土石流・流木の氾濫堆積面積が大きかった江河内谷についての調査結果を示す(石川他、1991)。写真-6には江河内谷の扇状地部の斜め空中写真を示す。流木の堆積分布を図-9に示す。江河内谷の扇状地は狭窄部により上流(地盤勾配約5.7°)と下流(地盤勾配約3.2°)に分かれている。下流側の扇状地の扇頂部近くにはJR可部線の盛土があり、この盛土の上流における流木と土砂の堆積割合が高くなっている。上流、下流の扇状地における流木および土砂の縦断方向の堆積分布は水理模型実験結果に近似しており、流木堆積のピークは土砂堆積のピークよりも若干下流にきている。

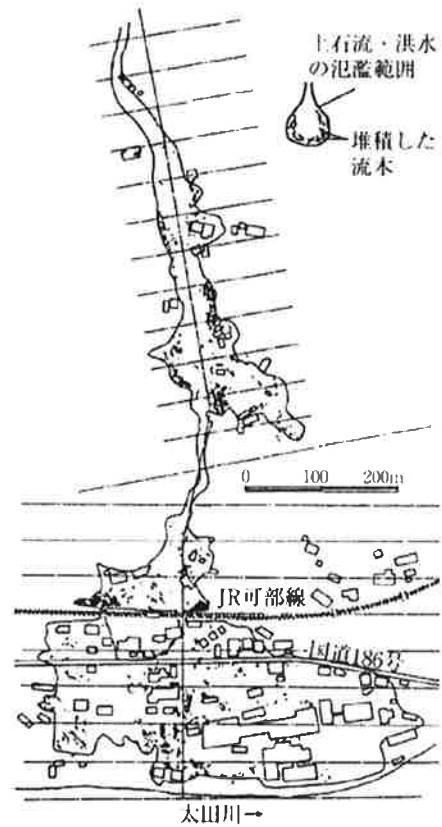


図-9 江河内谷における流木の堆積分布(石川他、1991)

### 4.3 流木による橋梁の閉塞と災害

流木が橋梁を閉塞すると、土石流や洪水の溪流外への氾濫を助長し、土石流や洪水の被害を増大させる。このような現象により引き起こされる災害は流木による災害の主要なものである。既往の災害(京都府南部災害、1986年;広島災害1988年;伊豆大島災害、2013年;梨子沢災害、2014年)における、流木による橋梁の閉塞の有無と桁下高さおよび径間長の関係を図-10に示す。径間長が

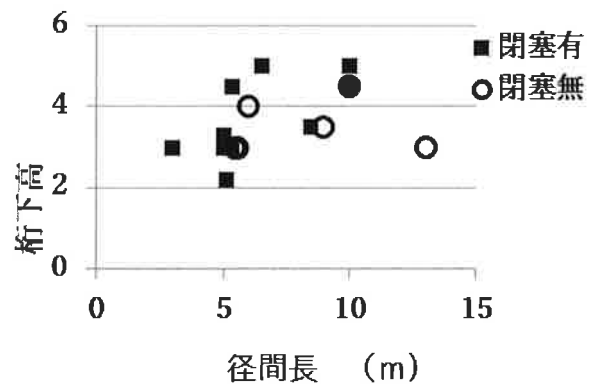


図-10 流木による橋梁の閉塞の有無と径間長と桁下高の関係



写真-6 江河内谷における土石流および流木の氾濫、堆積

10m以下、桁下高が5m以下であると流木による橋梁の閉塞が発生しやすいことが分かる。なお、同じ径間長、桁下高さであっても、下流の橋梁に比べて上流の橋梁ほど流木による閉塞が発生しやすい。

5. 流木による被害を軽減するための対策

流木災害を軽減するための対策としてはハード対策（施設や森林整備による対策）とソフト対策（警戒避難、土地利用などによる対策）がある。以下では主としてハード対策について述べる。溪流におけるハード対策の模式図を図-11に示す。主なハード対策としては次の方法がある。

- ①森林整備により、流木の発生源となる源頭部（0次谷）および溪流沿いにおいて間伐・本数調整伐を行うことにより根系の発達や林床植生の生長を促し、斜面の安定度を増すことにより斜面崩壊自体を減少させ、これにより流木の発生量を減少させる。また、針葉樹林から広葉樹林に林相を転換することで単位面積当たりの蓄積を減少させる。さらに、流木になる可能性が高い流路内の立木を伐採することも流木の発生量の軽減に関する効果が高い。
- ②流木の発生の原因である源頭部（0次谷）における斜面崩壊を防止するため、源頭部の斜面の安定を図る対策が有効である。工法としては、土留工、柵工、補強土工法などがある。さらに溪流沿いの斜面の侵食や崩壊を防止して流木の

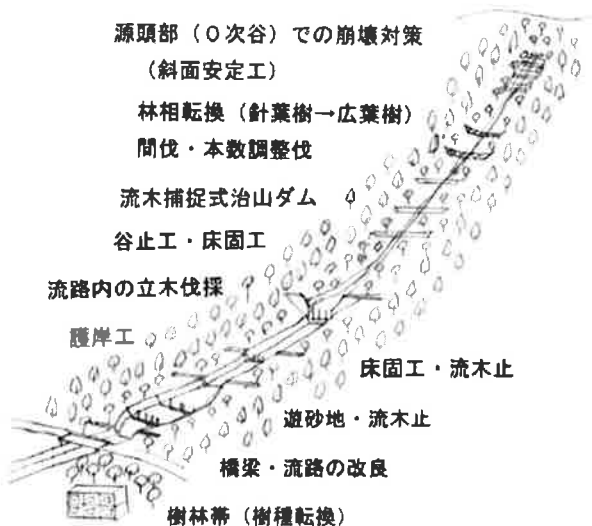


図-11 溪流における流木対策の模式図

発生を抑止するための護岸工、谷止工、床固工などが有効である。

- ③流木捕捉施設としては、流木捕捉式治山ダム（透過型施設）を溪流に設置して流下してくる流木を捕捉して下流に流下する流木を減少させる。
- ④溪床勾配が緩くなる扇状地などでは、樹林帯や遊砂地を整備して流木・土砂の堆積を促進させることにより、下流への流木・土砂の流出を抑制する。

流木捕捉式治山ダムの設計のための調査においては、対象とする溪流において発生・流下する流木の量、長さ等を算定する。透過型流木捕捉工の透過部（スリット部）の縦部材の純間隔は、水理模型実験結果（図-12）（石川、1989）より最大流木長の1/2から1/3以下であればよい。

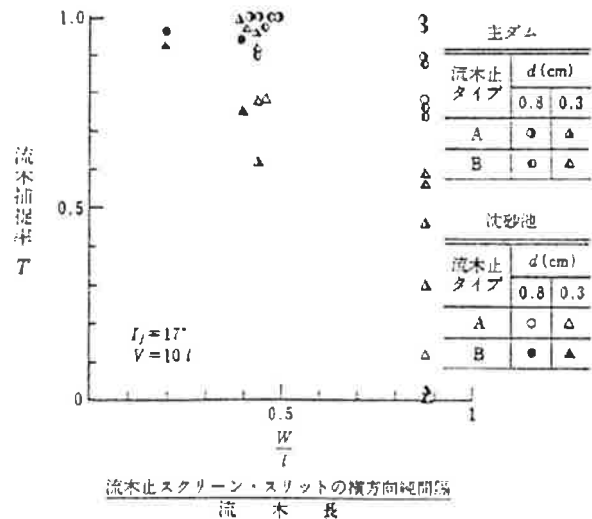


図-12 透過型流木捕捉工の透過部（スリット部）の縦部材の純間隔／流木長と流木捕捉率の関係（水理模型実験による結果）

ソフト対策としては、流木による橋梁の閉塞を考慮した土石流・洪水のハザードマップの作成手法の開発とハザードマップの公表が必要である。また、流木災害後の復旧を迅速に行うためには、橋梁に詰まった流木や堆積

した流木の効率的な除去機械の開発、さらに、除去した流木の処理技術の向上が必要である。

## 6. おわりに

平成 29 年 (2017 年) は九州北部豪雨により福岡県、大分県では大量の流木が発生・流下して、甚大な土石流・流木・洪水災害が発生した。これを受けて、林野庁と国土交通省では 3 ケ年計画で流木対策のための緊急対策事業を実施している。一方で、近年、溪畔林の溪流環境保全機能が注目されており、溪畔林を積極的に整備しようとする動きも活発化してきている。溪畔林は流木の発生源であるが、反面、場合によっては土砂災害や洪水災害を軽減する機能があり、溪流環境の保全機能も有している。さらに、流木災害は、下流での橋梁の閉塞が原因で被害の拡大が起きていることも考えると、河川事業 (流路の拡幅) や道路事業 (橋梁の改良) とも合わせて、総合的に対策を実施することが必要である。

### (参考文献)

石川芳治 (1989a) : 山地小溪流からの流木を伴う土砂流出による災害に関する研究, 京都大学学位論文, 84  
石川芳治, 水山高久, 鈴木浩之 (1989b) :

崩壊・土石流に伴う流木の实態と調査法, 土木技術資料, 第 31 卷, 第 1 号 : 23-29  
石川芳治, 水山高久, 福澤誠 (1989c) : 土石流に伴う流木の発生及び流下機構, 新砂防, 第 42 卷, 第 3 号 : 4-10.  
石川芳治, 水山高久, 福澤誠 (1991) : 扇状地における流木の流下, 堆積特性, 土木技術資料, 第 33 卷, 第 5 号 : 38-44.  
建設省砂防部砂防課 (2000) : 流木対策指針 (案) 計画編, 設計編 : 1-18, 1-17.  
国土交通省 (2017) : 平成 29 年 7 月九州北部豪雨は過去最大級の流木災害, <http://www.mlit.go.jp/common/001198670.pdf>  
萩原貞夫 (1962) : 流木災害とその防除, 水利科学 No. 25 : 25-37.  
清水収 (2009) : 山地流域における流木天然ダムの形成・破壊と流木の流出過程, 砂防学会誌, 第 62 卷, 第 3 号, pp 3-13

### (著書)

共著 : 流木と災害 (発生から処理まで) (2009), 小松利光監修, 技報堂出版, p 273

### (著者)

石川芳治 (いしかわよしはる) / 東京農工大学名誉教授 / 農学博士