

最近の流木災害の特徴と対策

CHARACTERISTICS OF RECENT WOODY DEBRIS DISASTERS AND COUNTERMEASURES

石川 芳治

Yoshiharu ISHIKAWA

東京農工大学名誉教授 (〒183-8538 東京都府中市晴見町3丁目8番1号)

E-mail: y_ishi@cc.tuat.ac.jp

Key Words: woody debris, disaster, countermeasure, debris flow, mechanism

1. はじめに

わが国の国土の約3/4は山地であり、その大部分は森林により覆われている。このため、河川上流域の溪流においては豪雨等により山腹崩壊、溪岸崩壊、溪岸・溪床侵食等が発生すると、土砂とともに多量の流木が発生して、下流へ流下する。この際に流木が溪流を横過する道路の橋梁、カルバートボックスを閉塞して土石流の氾濫を助長して、周辺の人家や施設に対する被害を増大させたり、道路や橋梁の損傷や流出を起こす事例がしばしば生じている。このような流木災害は昭和20年代およびそれよりも以前には大河川で発生していたが^{1),2)}、最近は主として山地溪流において発生している。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いて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カルバートボックスが増加した。③1950～1960年代に植林された人工林が成長してきており、材積、樹高、直径が増大した。④最近、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相対的に目立つようになった。流木災害を軽減するためには流木の発生・流下・堆積の場、および災害の発生場である、溪流の上流・中流・下流域および

河川域において、連続的にかつ総合的に流木対策を進める必要がある。以下では主として溪流における流木災害と対策について述べる。

2. 流木災害の事例と特徴

流木による災害の形態は大きく分類すると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。②流木が橋梁等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。③取水堰や放水路の取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になったり、海岸に漂着してゴミとなる等がある。これらのうちでも特に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。

昭和13年(1938)と昭和42年(1967)に神戸市の宇治川で発生した流木災害は有名である。宇治川では下流が暗渠であったため、流下してきた多量の流木により暗渠部が閉塞されて土石流が付近の商店街に氾濫して大きな被害が発生した。

昭和61年(1986)7月21日に京都府南部を襲った集中豪雨では木津川沿いの笠置町、和束町、加茂町

を中心とした地域で山腹崩壊や土石流が多発した。流木により橋梁が閉塞されて橋梁が流失した事例が見られた（写真-1）。

平成2年(1990)7月2日の豪雨により阿蘇山のカルデラ内を流れる古恵川（流域面積約10km²）の上流域では山腹斜面崩壊が多数発生して泥流とともに多量の流木が流下した。下流部の一の宮町市街地では古恵川に架かる長さ約10mの国道橋に多量の流木が詰まり、このため泥流および流木は周辺の人家密集地に氾濫して、死者7名、全半壊家屋百数十戸という大きな被害を発生させた³⁾（写真-2）。この流木災害を契機として、平成2年(1990)10月に建設省（現国土交通省）により「流木対策指針（案）」が策定された。この指針（案）は平成12年(2000)の改訂⁴⁾を経て、平成19年(2007)3月に「土石流対策技術指針（案）」と合わせ、「砂防基本計画策定指針（土石流・流木対策編）解説」および「土石流・流木対策設計技術指針解説」に編集され、さらにこれらは、平成28年(2016)4月に改訂されて^{5),6)}現在にいたっている。また、平成24年(2012)3月には林野庁により「土石流・流木対策の手引き」が策定され、これを基に平成30年(2018)3月には「土石流・流木対策指針解説等」⁷⁾が策定されている。

平成3年(1991)9月の台風19号により、九州北部4県では面積約37,000ha、約4,200万本におよぶ風倒木被害が発生し、緊急に流木対策工の設置が行われた。平成5年(1993)、平成7年(1995)の梅雨による豪雨のため、大分県や熊本県の風倒木地で崩壊、土石流が多数発生し、流木災害も発生した。この時、設置されていた流木対策工が効果を発揮した。

平成10年(1998)8月、栃木県の余笹川（流域面積97km²）では洪水とともに流下してきた流木が国道4号の橋梁（河床勾配約1/70）ほか4橋梁を閉塞した。このため橋台、橋脚、橋桁、取り付け道路部に被害が発生した。また、橋梁の周辺への洪水氾濫等により死者・行方不明者5名、全半壊家屋95戸にのぼる被害が発生した。全体の流木発生量は約8,000m³と推定されたが、その9割以上は洪水による溪岸および溪床の浸食によるものであり山腹斜面崩壊によるものは少なかった⁸⁾。

平成11年(1999)年6月に発生した広島災害では多くの流木災害が発生した。一例として荒谷川では溪流に架かっていた橋梁に流木が詰まったことにより周辺への土石流の氾濫が引き起こされて人家が破壊され、死者4名の被害が発生した⁹⁾（写真-3）。

平成15年(2003)8月には台風10号により北海道の日高地方では記録的な豪雨が発生した。沙流川、

厚別川、新冠川の流域では多くの山腹崩壊、土石流が発生するとともに、多量の流木が発生して下流に流下した。沙流川に位置する二風谷ダムでは約5万m³の流木が貯水池内に集積した¹⁰⁾（写真-4）。台風10号による北海道での死者・行方不明者は11名、全半壊家屋は31戸であった。



写真-1 流木の閉塞による橋梁の破壊（1986年7月、京都府笠置町、木津川左支川白砂川西奥橋）



写真-2 国道橋が流木により閉塞されたために土石流が周辺に氾濫し人命、人家等に甚大な被害を与えた（1990年7月、熊本県一の宮町古恵川）



写真-3 溪流に架かる橋梁の流木による閉塞に伴う土石流の氾濫と人家の被害（1999年6月の広島災害における荒谷川）

平成 16 年 (2004) は梅雨前線と度重なる台風の襲来により、全国各地で土石流による災害が発生したが、土石流とともに流下してきた流木が橋梁を閉塞することにより、土石流や洪水の災害を拡大させたと考えられる事例が福井県、兵庫県、香川県、愛媛県等において数多く見られた。このうち、愛媛県では多くの溪流において多量の流木が流下して土石流や洪水の被害を拡大させた¹¹⁾ (写真-5)。

平成 25 年 (2013) 台風 26 号により、伊豆大島では 24 時間雨量が 800mm を超える豪雨に見舞われ、大金沢では大規模な土石流が発生し、死者・行方不明者 39 名の甚大な土砂災害が発生した。この土石流による崩壊・侵食面積率は約 18% となったため多量の流木 (約 13,600m³) が発生・流下し、大金沢の中下流に存在していた橋梁が流木により閉塞されて、土石流が流路の外に氾濫したため被害が拡大した¹²⁾ (写真-6)。平成 26 年 (2014) 8 月には集中豪雨により広島市安佐北区・安佐南区を中心とした地域で多数の土石流・がけ崩れが発生し、死者 74 名という甚大な被害が発生した¹³⁾。

平成 29 年 (2017) 7 月の「九州北部豪雨」では、福岡県と大分県の県境付近一帯に 24 時間雨量が 800mm を超える豪雨が発生した。この豪雨により多数の斜面崩壊や土石流が発生し、これに伴い多量の土砂や流木が溪流及び河川を流下して下流の谷底平野や扇状地に氾濫堆積し、死者・行方不明者 41 名とともに、人家、ライフライン等の施設等に甚大な被害を発生させた¹⁴⁾ (写真-7)。

平成 30 年 (2018) 7 月には、「平成 30 年 7 月豪雨」により西日本および中部地方の広い範囲にわたって 72 時間雨量で 400mm を超える強い豪雨が発生し、多数の斜面崩壊や土石流ならびに洪水が発生し、広域にわたり土砂災害により 100 名を超える甚大な被害が発生した。この豪雨では、特に広島県と愛媛県において多数の土砂災害が発生した。広島県では花崗



写真-4 二風谷ダムにおける貯水池への流木の集積 (2003年8月台風10号による豪雨、日本ダム協会)

岩ならびに流紋岩の地質の地域で土石流が多数発生し、これに伴い流木も発生・流下して、橋梁等を閉塞して被害を拡大させた (写真-8)。



写真-5 愛媛県西条市長谷川における流木による橋梁の閉塞と周辺への洪水氾濫 (2004年9月台風21号による災害、愛媛県提供)



写真-6 伊豆大島大金沢における流木による橋梁の閉塞と土石流の氾濫 (2013年10月台風26号による災害)



写真-7 福岡県東峰村岩屋地区における土石流および流木の衝突による家屋の被害 (2017年7月「九州北部豪雨」による災害)

3. 流木の発生、流下のメカニズムと流木の特徴

流木の発生原因は表-1のように分類される^{15),16)}。特に山地においては土石流の発生、流下に伴う流木の発生が主な形態である。土石流の発生は主として源頭部の斜面崩壊によるものが多いため、流木も源頭部の崩壊により発生するが、量的には、土石流の流下による溪流沿いの侵食に伴い立木が流出することによる場合が多い(写真-9)。流木の流下の形態は、土石流では土砂と流木が混じって一体となって流下する(写真-10)ものと考えられる。一方、掃流(洪水)では流木は水面付近を浮いた形で流下すると考えられる。このため流木捕捉施設の計画や設計においては、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し、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A(km²)と流域内の流木の発生量(幹材量:樹幹の体積)Vg(m³)の関係を図-1に示す⁴⁾。図-1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¹⁷⁾も斜線で示す。図-1より流域面積が増大すると発生流木幹材積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71m³/haであったものが、2012年では295m³/haと約4倍に増加し



写真-8 広島県坂町総頭川における流木による橋梁の閉塞と土石流の氾濫(2018年7月豪雨)



写真-9 広島市の高松山における土石流の発生・流下(2014年8月、国土地理院撮影)

表-1 流木の発生原因^{15),16)}

流木の起源	流木の発生原因
立木の流出	①斜面崩壊の発生に伴う立木の滑落 ②土石流の発生に伴う立木の滑落・流下 ③土石流の流下に伴う溪岸・溪床侵食による立木の流出 ④洪水による河岸・河床の侵食による立木の流出
過去に発生した倒木等の流出	⑤病虫害や台風等により発生した倒木等の土石流、洪水による流出 ⑥過去に流出して河床上に堆積したり河床堆積物中に埋没していた流木の土石流、洪水による再移動 ⑦雪崩の発生・流下に伴う倒木の発生とその後の土石流、洪水による下流への流出 ⑧火山の噴火に伴う倒木の発生とその後の土石流、洪水による下流への流出



写真-10 南木曾町梨子沢における土石流先頭部における流木の流下状況(2014年7月、国土交通省多治見砂防国道事務所撮影)

ている。また、図-2^{4), 18)}から、発生流木幹材積 V_g (m^3)の上限値は斜面崩壊や土石流による生産土砂量 V_y (m^3)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1~2m程度とすれば崩壊地1ha当たりの生産土砂量は約1~2万 m^3 であり、これに対して人工林の平均蓄積量が約295 m^3 であることから妥当な値といえる。なお、流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)は実態調査¹⁸⁾によれば各溪流によりバラツキは大きいものの施設が無い場合には約50~90%である。昭和63年(1988)の広島災害の8溪流の流木発生源での調査結果では、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^{15), 18)}。

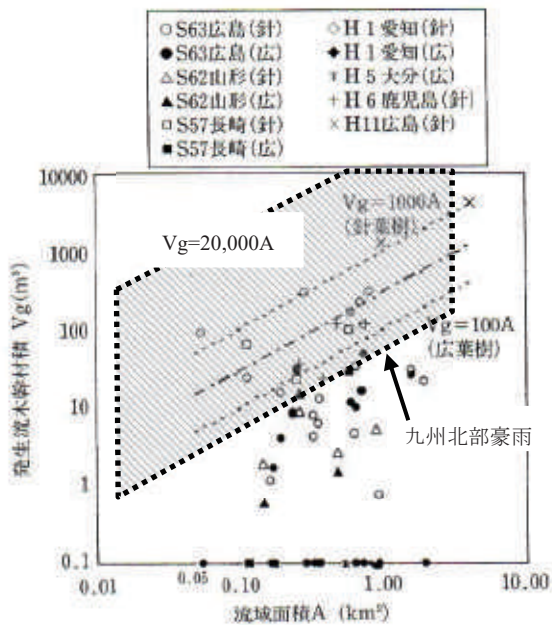


図-1 流域面積と発生流木幹材積⁴⁾、斜線部は九州北部災害(2017)時の溪流の分布(国土交通省¹⁷⁾、2017を加筆)

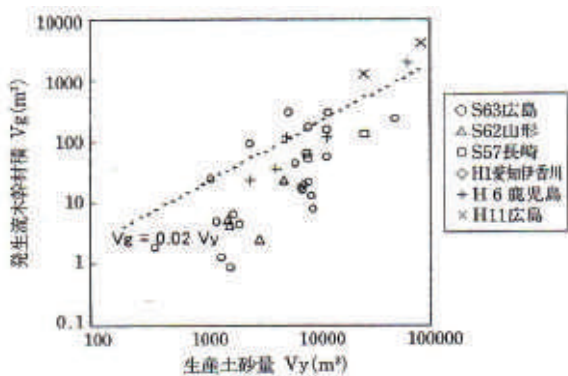


図-2 生産土砂量と発生流木幹材積^{4), 18)}

4. 流木災害を軽減するための対策

流木対策には、対策施設等によるハード対策と警戒・避難体制の整備等により人命に対する被害を防止するソフト対策がある。以下では主としてハード対策について述べる。山地溪流においては、多くの流木は土石流の発生・流下に伴って発生・流下するため、流木災害も土石流災害と同時に発生するケースが多い。このため、流木災害対策は土石流災害対策と平行して、また、相互に関連づけて計画・実施する必要がある。流木災害を防止・軽減するための第一歩は対象とする溪流において発生・流下する流木の量、長さ、直径等を推定することである。このために、流木が発生する場所(土石流が発生・流下する範囲)とその上に生育している立木の幹材積、樹高、直径を知る必要がある。次に流木による災害を引き起こす橋梁の閉塞について、溪流に架かる橋梁等を調査して流木による閉塞および閉塞に伴う周辺への土石流や流木の氾濫とそれによる災害発生の危険性を検討する。

流木のハード対策としては、表-2に示すように、(1)森林整備等による方法、(2)流木の発生抑止工(施設)による方法、(3)流木の捕捉工(施設)による方法、および(4)橋梁等の改良による方法が主なものである。これらの方法は、溪流の上流から下流において適切に組み合わせて用いられる必要がある。

表-2 流木のハード対策の種類

場所	森林整備等	流木発生抑止工	流木捕捉工
上流 (源頭部斜面)	間伐(人工林) 本数調整伐 (二次林)	斜面安定工、 土留工、柵工	柵工、 ネット工
中流 (溪岸斜面、溪床)	間伐(人工林)、林相転換 (針葉樹→広葉樹)、本数調整伐(二次林)	斜面安定工、 土留工、柵工、護岸工、 床固工、不透過型堰堤(ダム)	透過型堰堤(ダム)、 ワイヤーネット工、 流木止工、
下流 (溪岸斜面、溪床、扇状地)	間伐(人工林)、林相転換 (針葉樹→広葉樹)、本数調整伐(二次林)、樹林帯	護岸工、床固工、不透過型 堰堤(ダム)、 水制工	透過型堰堤(ダム)、 ワイヤーネット工、 流木止工、遊砂地
上流~ 下流		橋梁の通水断面の増大、橋桁が流出し易い橋梁、洗越工(上流)、危険木の除去	

溪流の上流部（源頭部、0次谷）は、斜面崩壊の発生により土石流・流木が発生する場所である。対策としては斜面安定工（土留工、柵工、のり砕工等）を施工することにより崩壊を防止したり、人工林の場合には適切な間伐を行い森林の根系の発達を促して斜面の安定度を増加させる。

中流部における流木対策としては、護岸工や床固工、堰堤（ダム）等により溪床や溪岸の侵食、洗掘を防止することが重要である。また、溪床や溪岸の針葉樹を広葉樹に林相転換を行う事により同一面積が侵食された場合でも幹材積量を減らすことは流木対策となる。さらに、広葉樹とする場合でも根系の発達が良く、斜面崩壊・侵食・洗掘抵抗の高い樹種¹⁹⁾に転換すると良い。なお、中流部においては上流から流下してきた流木を捕捉するための透過型堰堤（ダム）や流木止、またワイヤーネット工などを設置して、流木を捕捉し、下流に流下する流量を減少させる方法も採られる。

下流部の川幅が狭く、勾配が比較的急な区間では、中流部と同様の対策をとる。下流部が扇状地である場合には土石流や流木が堆積する場所でもあり、森林は土石流や流木の氾濫防止や捕捉に寄与する場合もある。このため、このような区間では土石流や流木を捕捉するための樹林帯として森林を生育させる方法がある。

中・下流部における透過型流木捕捉工による全捕捉容量（堆砂量）に対する流木の捕捉量（体積）の割合は実態調査²⁰⁾によれば約20～30%であり、一方、不透過型流木捕捉施設（通常の不透過型堰堤）による流木捕捉量の割合は1～2%程度である。残りは土砂の捕捉量である。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¹⁵⁾より最大流木長の1/2から1/3以下であればよい。**表-2**に示すように橋梁やカルバートボックス等の規模や形状を変えて、流木による閉塞を防止するなどの対策も重要である。

以上のように、溪流における流木災害を防止・軽減するためには、溪流の上流から下流における全区間における総合的な対策が重要である。

5. おわりに

これまで述べたように、流木は、溪流の上流、中流、下流において連続的に発生・流下・堆積するため、流木災害を防止・軽減するためには溪流の上流から下流まで連続的かつ総合的に対策を行う必要がある。一方で、流木の発生源である溪畔林は森林および溪

流環境の保全上も重要であり、流木対策に当たっては溪畔林の生態系の保全を図ることも重要である。

参考文献

- 1) 足立昭平、大同淳之：流木に関する実験的研究、京大防災研究所年報、第1号、pp. 41～49, 1957.
- 2) 荻原貞夫：流木災害とその防除：水利科学、No. 25, pp. 25-37, 1962.
- 3) Ishikawa, Y., Kusano, S., Fukuzawa, M.: Mudflow and floating logs disaster in Ichinomiya Town, Kumamoto Pref. in 1990, Proc. of Japan-U.S. Workshop on Snow Avalanche, Landslide, Debris Flow Prediction and Control, pp. 487-496, 1991
- 4) 建設省砂防部砂防課：流木対策指針（案）計画編、設計編、pp. 1-18, pp. 1-17, 2000.
- 5) 国土交通省国土技術政策総合研究所：砂防基本計画策定指針（土石流・流木対策編）解説、国総研資料第904号、pp. 1-77, 2016.
- 6) 国土交通省国土技術政策総合研究所：土石流・流木対策設計技術指針解説、国総研資料第905号、pp. 1-73, 2016.
- 7) 林野庁森林整備部計画課長通知：土石流・流木対策指針解説等、pp. 1-66, 2018.
- 8) 南哲行他：1998年8月栃木県余笹川災害で発生した流木の実態、砂防学会誌、Vol. 53, No. 4, pp. 44-51, 2000.
- 9) 海堀正博他：1999年6月29日広島土砂災害に関する緊急調査報告（速報）、砂防学会誌、Vol. 52, No. 3, pp. 34-43, 1999.
- 10) (一財)日本ダム協会：ダム便覧、二風谷ダム <http://damnet.or.jp/cgi-bin/binranA/All.cgi?db4=0149>, 2018
- 11) 岡本敦：平成16年度愛媛県で発生した土砂災害の対策、第37回砂防学会シンポジウム講演集、pp. 73-90, 2005.
- 12) 石川芳治他：2013年10月16日台風16号による伊豆大島土砂災害、砂防学会誌、第66巻、第5号、pp. 61-72, 2014
- 13) 海堀正博他：2014年8月20日に広島市で発生した集中豪雨に伴う土砂災害、砂防学会誌、第67巻、第4号、pp. 49-59, 2014.
- 14) 丸谷知己他：2017年7月九州北部豪雨による土砂災害、砂防学会誌、第70巻、第4号、pp. 31-42, 2017.
- 15) 石川芳治：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、p124, 1989
- 16) 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、pp. 23-29, 1989.
- 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>, 2017
- 18) 石川芳治、水山高久、福澤 誠：土石流に伴う流木の発生及び流下機構、新砂防、第42巻、第3号、4-10, 1989.
- 19) 小松利光、山本晃一：流木と災害—発生から処理まで—、財団法人河川環境管理財団、技報堂出版、p. 229, 2000
- 20) 小山内信智、平松晋也、石川芳治：流木対策施設の効果と維持管理体制の現状、砂防学会誌、第50巻、第6号、pp. 48-51, 1998