

平成29年7月九州北部豪雨における流木の発生および流出 の特徴

誌名	水利科学
ISSN	00394858
著者名	染谷, 哲久 藤村, 直樹 石井, 靖雄 西井, 洋史
発行元	水利科学研究所
巻/号	62巻6号
巻号補足	
掲載ページ	p. 36-55
発行年月	2019年2月

農林水産省 農林水産技術会議事務局筑波産学連携支援センター

Tsukuba Business-Academia Cooperation Support Center, Agriculture, Forestry and Fisheries Research Council
Secretariat



特集：平成29年7月九州北部豪雨と流木災害
平成29年7月九州北部豪雨における
流木の発生および流出の特徴

染 谷 哲 久 藤 村 直 樹
石 井 靖 雄 西 井 洋 史

目 次

- I. はじめに
- II. 調査方法
 - 1. 調査流域の概要
 - 2. 調査方法
- III. 流木の発生実態
 - 1. 現地における流木の発生状況
 - 2. 発生流木の特徴
- IV. 流木の堆積および流出実態
 - 1. 現地における流木の堆積状況
 - 2. 堆積および流出流木の特徴
- V. まとめ

要旨

平成29年（2017年）7月九州北部豪雨災害では、複数の土石流危険溪流等を含む広い流域で大量の流木が発生し、下流の市街地へ流出して被害を発生させた。今後、広い流域における流木対策を検討する上で、本災害の流木の発生や流出の特徴を把握することは重要である。本論では、福岡県朝倉市の奈良ヶ谷川を対象に、流木の発生および堆積、流出の特徴を調査した結果を報告する。流木の発生原因は斜面の崩壊によるものが主体で、過去の流木災害報告と比較すると本災害では同程度の流域面積における発生流木量が多く、特に崩壊による流木発生面積率が高い値となった。流木の堆積は支溪流では倒木が多く、主溪流では流木が多い傾向が認められた。また支溪流で発生した多くの流木は土

（国立研究開発法人 土木研究所 土砂管理研究グループ 火山・土石流チーム）

石流により主溪流に流出し、主溪流では流水の水面付近を浮遊しながら流下したと推定された。

キーワード：発生流木、流出流木、堆積流木、支溪流、主溪流、流木運搬形態

I. はじめに

2017年（平成29年）7月に九州北部で総雨量650mmを超える降雨が発生し、福岡県朝倉市や大分県日田市を中心に甚大な被害が生じたり。本災害では、大量の土砂流出だけではなく、大量の流木が発生し、洪水により下流の市街地まで流下して橋梁を閉塞、氾濫被害等を増大させた²⁾。特に被害の大きかった地域では、土石流危険溪流のみではなく、それ以外の複数の支溪流においても流木が発生し、発生した流木が勾配の緩い主溪流へ流入し、大量の流木が下流へと流下した。今後、このような流木による被害を軽減していくためには、複数の土石流危険溪流や支溪流から流木が発生し、勾配の緩い主溪流へ流入して下流へと流出する、広い流域における流出流木量の推定手法が必要である。広い流域では、対象流域を土砂移動形態が異なると想定される支溪流と主溪流に区分して、流木の運搬過程に影響を与える土砂移動形態の違いなどを考慮した流出流木量の推定を行う必要がある。

以上の背景から、本研究では、広い流域における流出流木量の推定に資する情報を得ることを目的に、平成29年7月九州北部豪雨で被害の大きかった筑後川右岸の奈良ヶ谷川における流木の発生、堆積、および流出実態や、その特徴を支溪流、主溪流に分けて調査した。

II. 調査方法

1. 調査流域の概要

対象流域は、災害直後の斜め空中写真等を使用し、土木研究所が実施した福岡県朝倉市の筑後川右岸6流域における概略の流木発生および堆積状況の判読結果³⁾から、単位面積当たりの発生流木量が相対的に多いと推定された奈良ヶ谷川とした。対象流域の位置図を図1に示す。対象流域の主な地質は泥質片岩

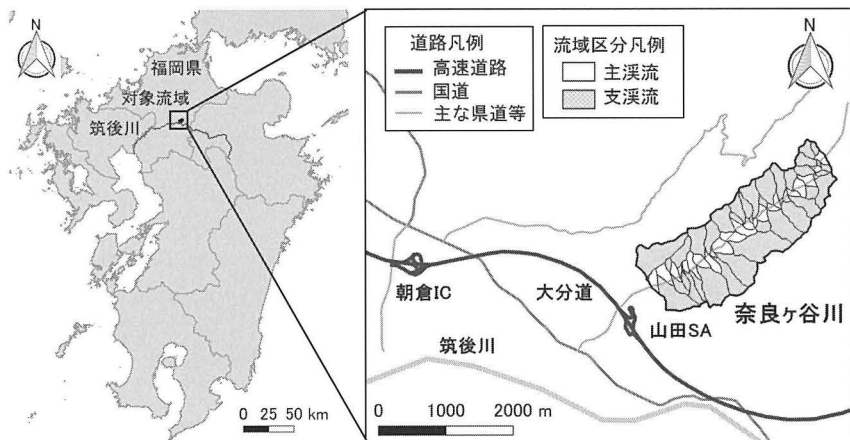


図1 対象流域の位置図および流域区分図

となっており⁴⁾、また対象地域の主な植生は針葉樹（スギ・ヒノキ）で、一部、広葉樹が分布する。

2. 調査方法

本調査では、流木の発生実態として、流木の発生域、発生原因および発生流木量を調査した。また流木の堆積および流出実態として、流木の堆積箇所、堆積形態および堆積流木量を調査した。以下に、流域区分の方法から発生および堆積流木量の算出方法について述べる。

1) 流域区分の方法

本研究では、対象流域を土砂移動形態が異なると想定される支溪流と主溪流に区分した。支溪流と主溪流の設定は、奈良ヶ谷川流域全体の中で主な流木発生域の下流端付近の地点を対象範囲の末端として、Strahlerの方式⁵⁾により谷次数区分を行い、上流の2次谷までの区間のうち最長距離の区間となるものを主溪流とし、その他の主溪流に合流する流域は支溪流とした。図1に流域区分の結果を示す。なお、支溪流の平均勾配は概ね10～25°であり、主溪流の平均勾配は12°となる上流の1箇所を除いて10°未満となっている。

2) 流木の発生実態の調査方法

流木の発生範囲は、災害前後の航空レーザ測量データによる1mメッシュの数値標高モデル（DEM：Digital Elevation Model）の差分およびオルソフォト

から土砂移動範囲を判読し、土砂移動範囲のうち災害前後のオルソフォトなどから、立木が消失した範囲を発生範囲として判読することにより把握した。なお土砂移動範囲は、ここでは高橋による土砂移動形態の領域区分図⁶⁾を参考に概ね23°以上の範囲を「崩壊」、その他を「溪岸・渓床侵食」に分類した。また発生流量は、数値表層モデル（DSM：Digital Surface Model）とDEMの差分を樹高分布（DHM：Digital Height Model）⁷⁾として、空中写真とDHMの分布図から3つの林相（針葉樹、広葉樹、DHMが概ね10m未満の低木）を判読、分類した上でコドラート調査を針葉樹4箇所、広葉樹2箇所、低木2箇所で行い、単位面積当たりの立木材積量を算出して発生面積に乘じることで算出した。

3) 流木の堆積および流出実態の調査方法

堆積流木は、災害直後の斜め空中写真やオルソフォト等から1本ごとの「単木」と1本ごとの判読が困難な堆積流木が集積した範囲（以下、「集積木」という）を判読し、単木については長さを、集積木については堆積範囲の面積をGISで計測した。また堆積流木は、崩壊斜面内もしくは直下に堆積し、かつ多くの流木の向きが崩壊土砂の移動方向に概ね平行なものを、枝葉が多く残存しているものを「倒木」とし、土砂や流水により運搬されて溪流内に堆積した枝葉や樹皮が比較的少ない「流木」とは堆積形態が異なるものとして区分した。堆積流木の形態分類例を写真1および写真2に示す。

堆積流木量は、堆積流木の判読結果と現地調査結果を組み合わせで算出した。現地調査は奈良ヶ谷川の24箇所の集積木を対象に行い、代表的な3本程度の堆積流木の平均長と平均径、および堆積本数を計測し、円柱形状として堆積



写真1 倒木の例



写真2 流木の例

流木 1 本当たりの平均材積を求めて、平均材積に本数を乗じて全体の材積量を算出した。また、24箇所のうち現地において本数の計測が困難な 6 箇所の集積木については、堆積流木の平均堆積厚さと堆積流木の材積密度を計測し、堆積範囲の面積に平均堆積厚さ、材積密度を乗じて材積量を算出した。現地で計測した箇所以外は、集積木については堆積面積と現地調査箇所における材積量との関係式を、奈良ヶ谷川17箇所および隣接する妙見川17箇所の合計34箇所の現地調査結果から作成して算出し、単木については関係式を作成した34箇所の現地調査で計測した堆積流木の平均径を用い、円柱形状として平均径から求めた円の断面積に長さに乗じて材積量を算出した。

Ⅲ. 流木の発生実態

1. 現地における流木の発生状況

現地調査では奈良ヶ谷川の主溪流沿い、および多くの支溪流のうちの代表的な一つの支溪流を対象に、流木の発生状況を確認した。主溪流沿いの調査は災害直後の2017年（平成29年）7月18日から21日に、支溪流の調査は同年10月31日と11月1日に行った。調査の結果より、代表的な流木発生箇所の状況を写真3～8に、写真の位置図を図2に示す。

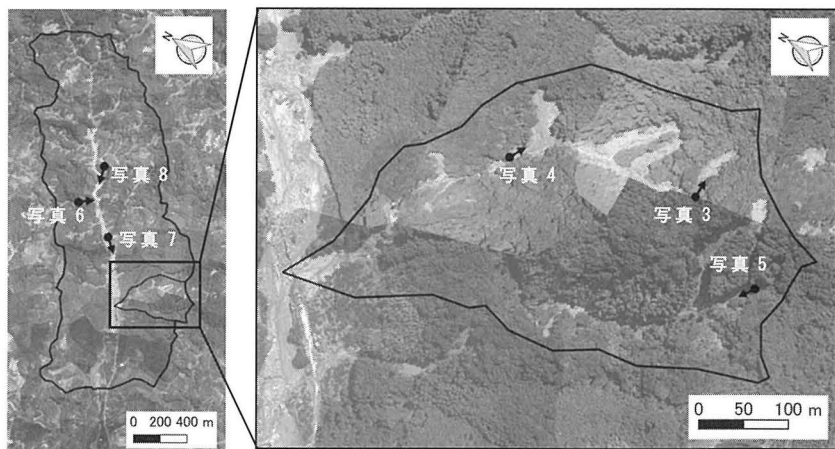


図2 流木発生箇所の写真位置図



写真3 支溪流の最上流の状況



写真4 支溪流の溪流に面した斜面の状況



写真5 支溪流の溪岸・溪床の状況



写真6 主溪流に面した斜面の状況



写真7 主溪流の溪岸の状況

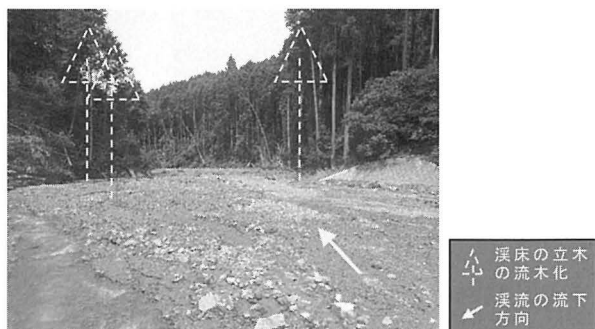


写真8 主溪流の溪床における流木の発生状況

支溪流では、支溪流の最上流や溪流に面した斜面に崩壊地が分布しており、崩壊地内の立木が流木となっていた（写真3，写真4）。また、土砂や流水により溪床や溪岸が侵食されて、立木が流木となっていた（写真5）。主溪流では、溪流に面した斜面で崩壊が発生し、崩壊地内の立木が流木となっていた（写真6）。また、流水により溪岸が侵食された痕跡があり、溪岸の立木が流木となっていた（写真7）。なお、土砂や流水が流下した溪床の範囲では立木が残存しておらず、溪床の立木は流木になったと推定される（写真8）。

以上の結果をまとめると、流木の発生状況は以下の通りと考えられる。

【支溪流の発生状況】

- 最上流や溪流に面した斜面の崩壊に伴う立木の流出
- 土石流等の流下に伴う溪岸・溪床の侵食による立木の流出

【主溪流の発生状況】

- 溪流に面した斜面の崩壊に伴う立木の流出
- 土砂や流水の流下に伴う溪岸・溪床の侵食による立木の流出

支溪流、主溪流ともに、流木は崩壊や土砂、流水の流下による溪岸や溪床の侵食により発生しており、石川ほか⁸⁾で示されている流木の発生原因と整合していた。特に、支溪流、主溪流ともに斜面の崩壊が多く見られ、崩壊に伴う立木の流出が主な流木の発生原因と推定された。

なお、災害前のオルソフォトを確認した結果、目立った崩壊地や土砂の流下痕跡等は見られず、溪床に過去の流木が大量に堆積していた可能性は低いと考えられる。

2. 発生流木の特徴

奈良ヶ谷川の流木発生範囲の判読、および現地でのコドラート調査の結果から、流木発生面積および発生流木量を算出した。図3に算出結果を示す。奈良ヶ谷川流域全体で流木発生面積および発生流木量は、主溪流よりも支溪流の方が多く、支溪流、主溪流ともに溪岸・溪床侵食よりも崩壊による発生が多かった。したがって、主たる流木の発生域は支溪流で、発生原因は崩壊によるものであった。なお、流木発生面積率（流木発生面積÷流域面積）は、支溪流と主溪流で大きな違いは見られなかった。また、奈良ヶ谷川の主溪流沿いは、樹高

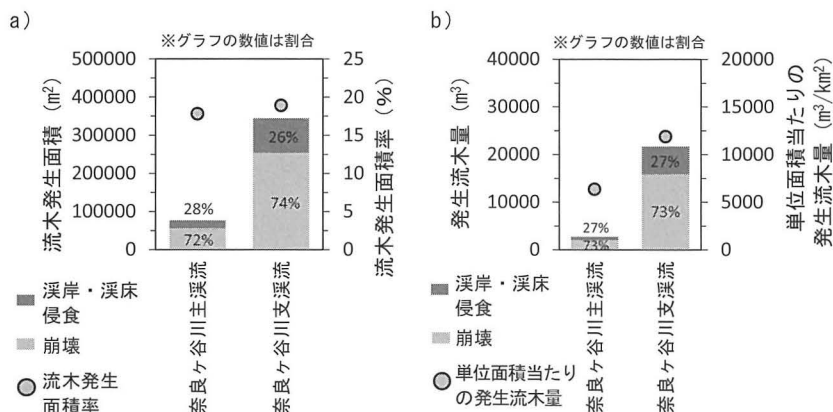


図3 発生源別の流木発生面積と流木発生面積率 a)
および発生流量と単位面積当たりの発生流量量 b)

の低い広葉樹や樹高10m程度のスギ・ヒノキの低木が多く分布しており、単位面積当たりの発生流量（発生流量÷流域面積）は支溪流よりも主溪流の方が小さい値となった。

今回の災害による発生流量を、過去の流木災害の報告^{9), 10)}と比較したところ、図4に示すとおり、発生流量は奈良ヶ谷川の多くの支溪流で同程度の流域面積において過去の流木災害の報告よりも多い傾向となった。なお、過去の流木災害の報告は主に土石流危険溪流のような急勾配の溪流が多いため、支溪流での結果を中心に比較しているが、流域全体の発生流量で比較しても同程度の流域面積の実績を上回る発生流量であった。

また、流木発生面積率についても、過去の流木災害の報告^{11), 12), 13)}と比較したところ、図5に示す通り、奈良ヶ谷川流域の流木発生面積率は過去の流木災害の報告よりも高く、特に崩壊による発生面積率が高い値となった。

IV. 流木の堆積および流出実態

1. 現地における流木の堆積状況

流木の堆積状況については、発生状況と同様に主溪流沿い、および一つの支溪流を対象に確認した。調査は、発生状況の確認日程と同様に2017年7月18日

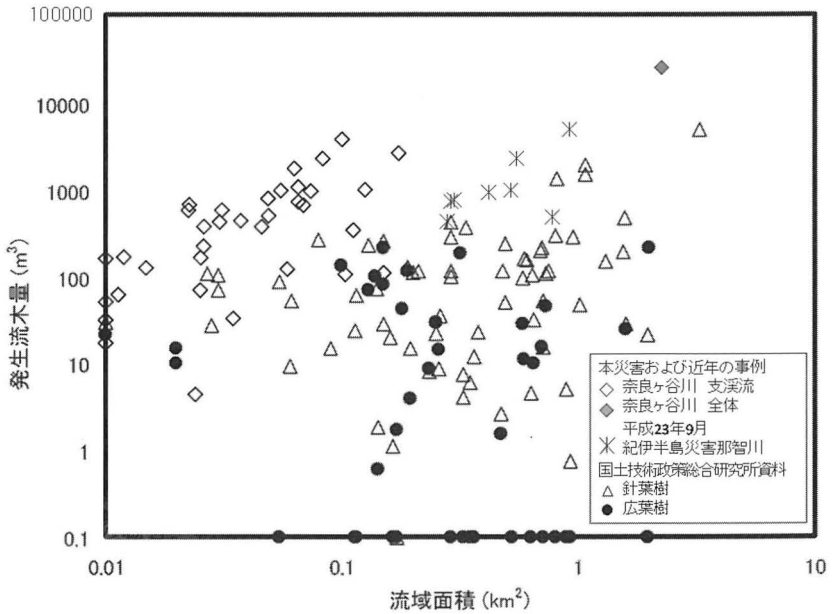
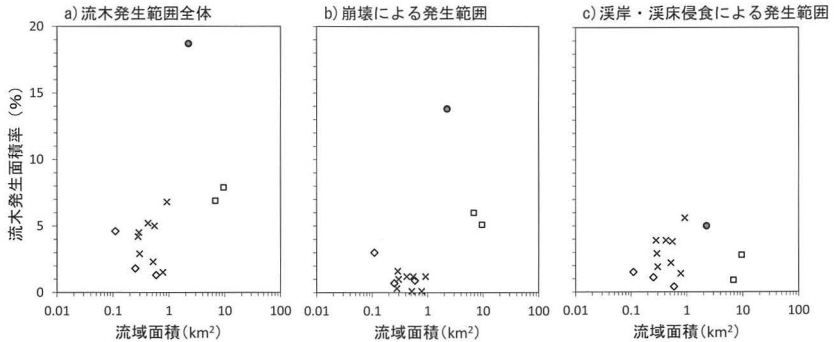


図4 流域面積と発生流木量との関係（国土技術政策総合研究所資料⁹⁾に加筆）



◇昭和57年7月長崎豪雨 □平成2年7月熊本県一の宮町 ×平成23年9月紀伊半島災害 那智川 ●奈良ヶ谷川 全体

図5 流域面積と流木発生面積率との関係

から21日および同年10月31日と11月1日に行った。調査の結果より、代表的な流木堆積箇所を写真9～17に、写真の位置図を図6に示す。

支溪流では、崩壊に伴い発生した流木の一部は、倒木として崩壊地内もしくは崩壊地直下に堆積していた(写真9)。また崩壊や溪岸・溪床侵食により発生した流木は、流下途中の狭窄部で流木が塊をなして堆積していた(写真10)。さらには、谷出口の狭窄部では上流から流下してきた流木が大きな流木の塊となって堆積していた(写真11)。主溪流では、上流で溪流に面した斜面の崩壊に伴い発生した流木が、崩壊地内および崩壊地直下の溪床上に倒木として堆積していた(写真12)。また、主溪流の中流で支溪流の合流点付近に支溪流から流出したと考えられる流木が集積している箇所が見られた(写真13)。主溪流の中流から下流では、一度堆積した土砂がその後の流水により侵食されて形成されたと推定される段丘堆積物上に、流木が集積していた(写真14)。また、上流から流下してきた流木が高さ2m程度で溪床の横断方向全体に集積していた(写真15)。屈曲部では、外湾側に流木が同じ向きで集積している箇所が見られた(写真16)。さらに下流の橋梁地点では、流木が橋梁部の流下断面を閉塞しており、流木が橋梁周辺の広い範囲に集積していた(写真17)。なお、現地調査を実施した時点では、橋梁付近の流木は、一部、除去されている。

以上の結果をまとめると、流木の堆積状況は以下の通りと考えられる。

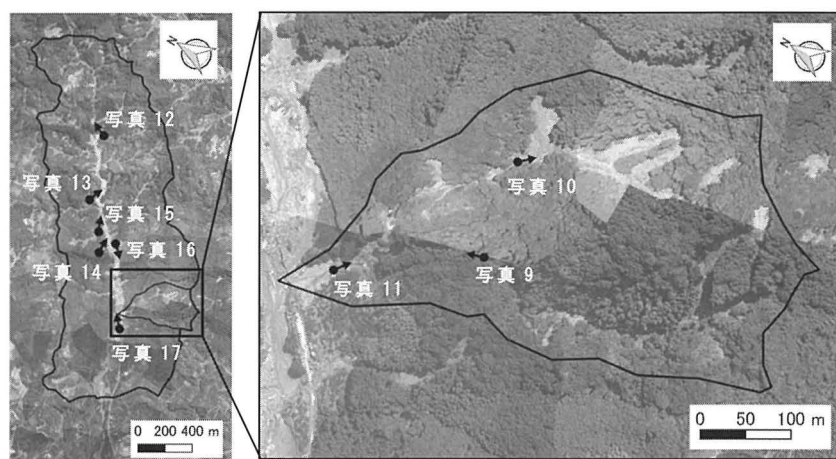


図6 流木堆積箇所の写真位置図



写真9 支溪流における崩壊地直下の倒木の堆積状況



写真10 支溪流における流路狭窄部の流木の堆積状況



写真11 支溪流における谷出口狭窄部の流木の堆積状況



写真12 主溪流における崩壊地直下の倒木の堆積状況



写真13 主溪流における合流点付近の流木の堆積状況



写真14 主溪流における段丘堆積物上の流木の堆積状況

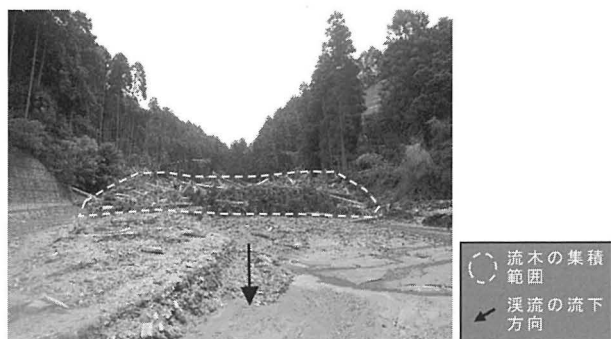


写真15 主溪流における溪床の横断方向全体に広がった流木の堆積状況



写真16 主溪流における屈曲部外湾の流木の堆積状況



写真17 主溪流における橋梁部の流木の堆積状況

【支溪流の堆積状況】

- 崩壊地内や崩壊地直下の溪床に倒木として堆積
- 流路の狭窄部に流木が塊をなして堆積

【主溪流の堆積状況】

- 上流では主に崩壊地内や崩壊地直下の溪床に倒木として堆積
- 中流から下流では支溪流の谷出口付近や溪床の横断方向全体、段丘堆積物上や屈曲部の外湾側に流木が集積
- 下流の橋梁周辺の広範囲に流木が集積

2. 堆積および流出流木の特徴

奈良ヶ谷川の流木堆積範囲の判読、および現地調査に基づいて堆積流量を算出した。図7に算出結果を示す。奈良ヶ谷川流域全体の堆積流量は、支溪流よりも主溪流の方が多く、支溪流では流木よりも倒木の方が、主溪流では倒木よりも流木の方が多い傾向であった。

支溪流において発生流量と堆積流量を比較すると、支溪流全体の発生流量が図3のb)より $21,700\text{m}^3$ であるのに対して、堆積流量は $1,800\text{m}^3$ であるため、 $19,900\text{m}^3$ が主溪流に流入したことになる。また、支溪流は平均勾配が $10^\circ\sim 25^\circ$ で 15° 以上の溪流が多く、高橋による土砂移動形態の領域区分図⁶⁾から多くの支溪流において土石流形態で流下した可能性が高いと推定される。

支溪流の流木の堆積形態について、堆積形態を区分した石川ほかによる過去の流木災害の報告⁸⁾のうち、土石流が発生した4支川の事例と奈良ヶ谷川支溪流全体の結果を比較した。図8に比較した結果を示す。なお、1987年（昭和62年）8月山形県温海町の土石流・流木災害については、堆積形態ごとの堆積本数の本文での記述値から堆積形態ごとの割合を算出している。山形県温海町の流木災害の報告では、倒木の割合は50～70%程度であり、奈良ヶ谷川支溪流全体での値も同程度であった。ただし、奈良ヶ谷川の各支溪流の算出値では流木と倒木の割合がばらついていて、今後、流木の発生原因と堆積形態や流出流量との関係など、支溪流の特徴を詳しく解析していく必要がある。

主溪流の堆積および流出流木について、地形条件や流木の運搬形態との関係を調査した。奈良ヶ谷川の縦断図および主溪流の溪床勾配と集水面積を図9に示す。縦断図は、災害前の航空レーザ測量データのDEMから作成し、主溪流の溪床勾配は200m上流（上流が200m未満の場合は最上流までの距離）で算

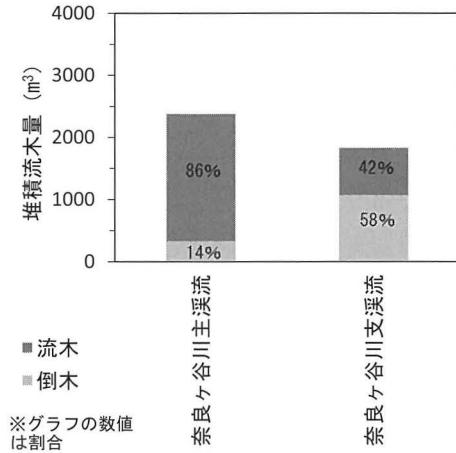


図7 堆積形態別の堆積流木量

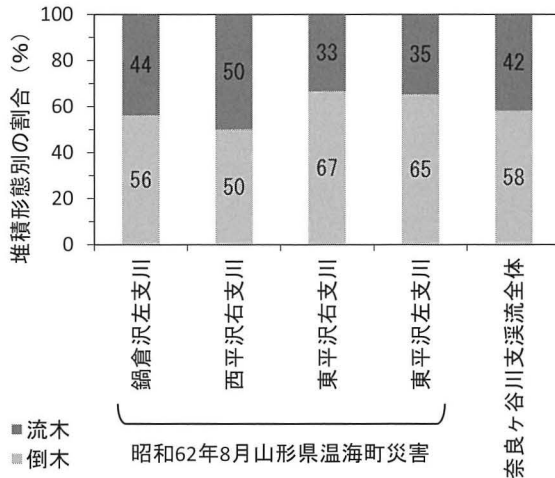


図8 過去の流木災害の報告例における堆積形態の割合との比較図

出した。

主溪流の主な倒木の箇所は、集水面積の小さい上流と流水の影響をほとんど受けなかったと思われる崩壊斜面内もしくは道路上であった。主溪流では溪床勾配が10°未満の区間が多く、高橋による土砂移動形態の領域区分図⁶⁾からは掃

流状集合流動や掃流で移動したと推定され、流木は主に流水により運搬されたと考えられる。また主溪流は支溪流よりも集水面積が大きく、水深が大きくなることが多いと推定され、水深が大きい時にはスギやヒノキなどの比重の小さい生木は流木として流水の水面付近を浮遊しながら流下した¹⁴⁾と考えられる。なお、主溪流の中流（図9の筑後川合流点からの距離が3,800m付近）では、支溪流の谷出口付近に支溪流から流出して堆積したと推定される流木の塊が残存している箇所もあった。これは支溪流から流木の流入するタイミングが主溪流の水深が比較的小さいときであったため、下流へと流下せず谷出口付近に堆積した可能性がある。

V. まとめ

本論では、平成29年7月九州北部豪雨について、福岡県朝倉市の奈良ヶ谷川を対象に、流域を支溪流と主溪流に区分して流木の発生および堆積，流出の特徴を述べた。調査結果を要約すると表1に示すとおりである。流木の発生箇所，原因や発生流木量は、支溪流，主溪流ともに斜面の崩壊によるものが主体

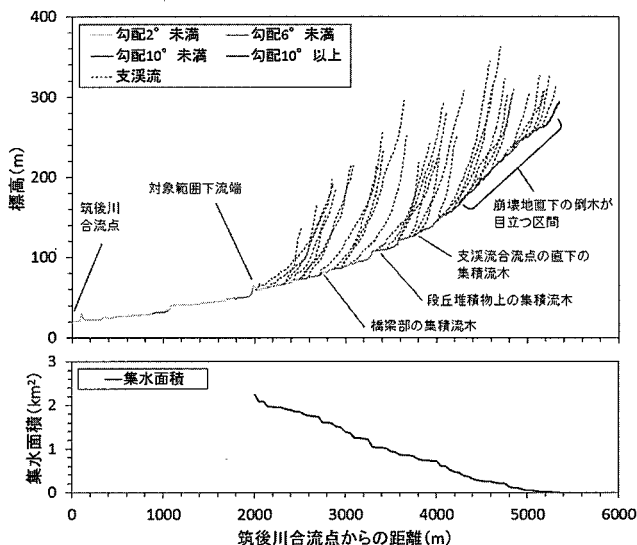


図9 奈良ヶ谷川の縦断面図と主溪流の溪床勾配および集水面積

であった。また過去の流木災害報告と比較すると、本災害では同程度の流域面積において発生流木量が多く、崩壊による流木発生面積率が高いという結果が得られた。流木の堆積位置や堆積形態は支溪流と主溪流で特徴が異なり、支溪流では倒木の方が多く、主溪流では土砂や流水に運搬された流木が多い傾向であった。また、支溪流や主溪流の地形条件から、支溪流で発生した流木の多くが土石流により主溪流に流出し、主溪流では流水の水面付近を浮遊しながら下流まで流下したと推定された。

今後は、複数の支溪流を有する流域において、本災害における特徴を踏まえ、流木が発生、堆積、および流出する過程における地形や水理条件、特に流木の運搬形態に関係する水深や土砂移動との関係等から、流木の流出過程を時系列的な観点も含めて推定し、将来的には流出流木量の予測につなげていくことが課題と考えられる。

表1 流木の発生および堆積・流出の特徴

現象		支溪流	主溪流	流域全体
発生	発生原因	●斜面の崩壊 ●溪床・溪岸の侵食	●斜面の崩壊 ●溪床・溪岸の侵食	●過去の流木災害報告9),10)と比較して、同程度の流域面積において発生流木量が多い ●崩壊による流木発生面積率が高い
	発生流木量	●斜面の崩壊によるものが主体	●斜面の崩壊によるものが主体	
堆積 流出	堆積位置	●倒木 ●溪床の狭窄部に流木が集積	●上流：崩壊斜面内もしくは直下の溪床に倒木として堆積 ●中流：支溪流合流点の直下流に流木が集積 ●中流から下流：段丘堆積物上や屈曲部外湾、溪床の横断方向全体に流木が集積 ●下流：橋梁周辺に流木が集積	●支溪流で発生した多くの流木は土石流により主溪流に流出 ●主溪流では、主に流水の水面付近を浮遊しながら下流まで流下
	堆積流木量	●流木よりも倒木の方が主体	●土砂や水により運搬された流木が主体	

謝辞

本調査で使用した航空レーザ測量データは、災害前は株式会社ダイヤコンサルタント、アジア航測株式会社、株式会社宇佐美工業の3者が所有するデータを、災害後は国土交通省九州地方整備局が所有するデータを使用しました。ここに記してお礼申し上げます。

引用文献

- 1) 丸谷知己・海堀正博・地頭蘭隆・水野秀明・大野宏之・清水収・久保田哲也・植弘隆・金澤瑛・河野貴則・古賀省三・小林央宜・小林拓也・坂島俊彦・酒谷幸彦・相楽渉・篠原慶規・鈴木大和・高木将行・鳥田英司・中濃耕司・藤澤康弘・山口和也・山田勇智（2017）：2017年7月の九州北部豪雨による土砂災害，砂防学会誌 70（4），31-42
- 2) 守屋博貴・二瓶泰雄・長谷部由莉・峯浩二・鮎本健治・矢野真一郎・渡辺豊・福田信行（2018）：平成29年九州北部豪雨による福岡県北川の流木災害の検討，土木学会論文集 B1（水工学）74（4），I_1195-I_1200
- 3) 国立研究開発法人土木研究所土砂管理研究グループ火山・土石流チーム（2017）：福岡県朝倉市の筑後川支川6流域内における堆積流木と流木発生域の分布図，http://www.pwri.go.jp/team/volcano/tech_info/study/h29_fy2017/ryuuboku170810.pdf
- 4) 産業技術総合研究所（2018）：20万分の1日本シームレス地質図V2，<https://gbank.gsj.jp/seamless/v2.html>
- 5) 高山茂美（2013）：復刊 河川地形，（23-24），共立出版
- 6) 高橋保（1982）：土石流の停止・堆積機構に関する研究（3）—土石流扇状地の二次侵食—，京都大学防災研究所年報第25号 B-2，327-348
- 7) 坂井佑介・木下篤彦・柏原佳明・梶原あずさ・小川紀一郎（2012）：航空レーザ計測データを用いた流木発生箇所の特徴，砂防学会誌65（3），47-51
- 8) 石川芳治・水山高久・鈴木浩之（1989）：崩壊・土石流に伴う流木の実態と調査法，土木技術資料31（1），23-29
- 9) 国土交通省国土技術政策総合研究所（2016）：砂防基本計画策定指針（土石流・流木対策編）解説，国土技術政策総合研究所資料第904号
- 10) 黒岩知恵・藤村直樹・木下篤彦・水野秀明・今森直紀・福田和寿（2016）：平成23年台風12号土砂災害における和歌山県那智川流域の流木の発生と流出実態，第8回土砂災害に関するシンポジウム論文集，127-132
- 11) 水山高久・大場章・万膳英彦（1985）：土石流発生に伴う流木の生産，流出事例と対策，新砂防38（1），1-6

- 12) 建設省土木研究所砂防部砂防研究室（1991）：平成二年7月熊本県一の宮町泥流・流木災害調査報告書，土木研究所資料第3026号
- 13) 国土交通省近畿地方整備局紀伊山地砂防事務所（2015）：那智川流域土砂災害発生機構等調査業務報告書
- 14) 小松利光監修・山本晃一編集・財団法人河川環境管理財団企画（2009）：流木と災害—発生から処理まで—，(29)，技報堂出版

（原稿受付2018年9月28日，原稿受理2018年10月10日）