

が優占し、上流には樹高 10m 以上のシイ・カシを主体とする常緑広葉樹二次林が見られる。各溪流の谷出口より下流に広がる土石流扇状地は、家屋や畑等として土地利用されている。

2011 年 9 月の台風第 12 号により、対象流域の近隣に位置する気象庁アメダス新宮観測所では、最大時間雨量 131.5mm/h、最大 24 時間雨量 609mm/24h、9 月 1 日から 4 日までの積算雨量 820.5mm の降雨を記録した。この降雨により那智川流域の支川を中心に土石流が多発し、那智川流域全体で甚大な被害が発生した。本研究ではこの土石流により発生・堆積・流出した流木を対象に分析を行った。

2. 1. 2 境松崎川の概要

境松崎川は鹿児島県垂水市に位置する土石流危険溪流である(図-2)。流域面積は 1.03km²、地質は火成岩や付加体(四万十累層群)である。また植生は 20m 以上のスギからなる針葉樹と 10m 程度の広葉樹の混合林となっている。谷出口には鋼製透過型砂防堰堤が設置されており、その地点より下流には国道 220 号や住居などの保全対象が立地している。

2016 年 9 月の台風第 16 号により、流域の近隣に位置する気象庁アメダス牧之原観測所では、最大時間雨量 93.5mm/h、9 月 19 日 12 時から 20 日 12 時までの積算雨量 257.5mm の降雨を記録した。この降雨により境松崎川の本川および支川で土石流が発生し、下流の鋼製透過型砂防堰堤で土砂と流木が捕捉された。本研究ではこの土石流により発生・堆積・流出した流木を対象に分析を行った。

2. 1. 3 発生・堆積・流出流木の算出方法

発生流木量は災害前後の空中写真で流木発生範囲を判読した上で、現地調査において林相ごとに発生範

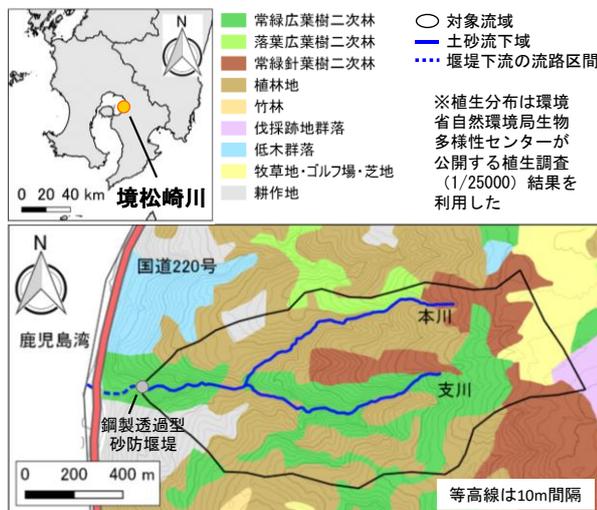


図-2 境松崎川の位置図

囲の近傍で単位面積当たりの材積量調査(10m×10m のコドラート調査)を行い、発生範囲に林相ごとの単位面積当たりの材積量を乗じることで算出した。なお流木発生範囲は、山腹の崩壊地および土石流により侵食を受けた溪岸・溪床(土砂堆積範囲も含む)となっている。

堆積流木量は堆積流木の本数・直径・長さを空中写真判読と現地調査から把握して実材積を算出した。なお、砂防堰堤における堆積流木は、空中写真等で確認できた砂防堰堤の堆砂面上にあるものを対象とした。流出流木量は発生流木量から堆積流木量を差し引いて算出した。また流木流出率は発生流木量に対する流出流木量の百分率とした。

2. 1. 4 流木収支の算出方法と分析手法

堆積流木の実態を分析するため、対象溪流の流路を概ね 50m 間隔に分割し、分割した区間ごとの流木収支を算出した。流木収支は区間ごとに上流からの流入流木量、支川からの流入流木量、発生流木量、堆積流木量、下流への流出流木量を算出し、上流から収支計算を行うことで算出した。

また、流木の堆積や流出には溪床勾配や河道幅が影響しているとの指摘がある³⁾。そこで区間ごとに航空レーザ測量データから溪床勾配、河道幅、屈曲度を算出し、堆積流木との関係を分析した。溪床勾配は当該区間の標高差と距離から算出し、河道幅は土石流下幅の区間平均値とした。屈曲度は既往研究¹⁰⁾で用いられた算出方法を参考とし、本研究では対象区間の河道中心線の長さを区間の直線距離で除した値とした。

2. 2 那智川流域における流木の発生・堆積・流出実態

2. 2. 1 各流域の堆積および流出実態

那智川支流の発生・堆積・流出流木量を表-1 に示す。流木流出率の算出結果を見ると、8 溪流のうち 6 溪流は概ね 80~90% となり、樋口川と平野川ではそれぞれ 50.4% と 69.3% で、他の溪流より低い値となった。現在の流木対策に関する指針¹⁾では、流木流出率は既往災害事例を踏まえて 80~90% 程度となっており、樋口川と平野川では発生流木量に対する堆積流木量が多く、溪流内に多くの流木が残存したことになる。

2. 2. 2 流木収支による堆積流木の特徴分析

溪流内に多くの流木が堆積した樋口川と平野川を対象に流木収支、及び溪床勾配や河道幅、屈曲度との関係から堆積流木の特徴を分析した。現地調査と既往調査資料¹¹⁾から、溪流内に堆積していた流木の形態は

表-1 各流域の発生・堆積・流出流木量の算出結果

溪流名	流域面積 km ²	渓床勾配 ※1 °	発生流木量 V ₁ m ³	堆積流木量 V ₂ ※2 m ³	流出流木量 V ₃ m ³	流木流出率 α %	比発生流木量 m ³ /km ²
① 陰陽川 左支溪	0.28	20.9	415	48	367	88.4	1,481
② 内の川	0.29	21.9	704	114	590	83.8	2,426
③ 樋口川	0.78	13.7	467	232	235	50.4	599
④ 平野川	0.42	19.8	900	276	624	69.3	2,144
⑤ 金山谷川	0.92	12.7	4,763	453	4,310	90.5	5,177
⑥ 尻剣谷川	0.55	13.6	2,210	232	1,977	89.5	4,017
⑦ 蛇ノ谷川	0.30	15.9	734	106	629	85.6	2,448
⑧ 鳴子谷川	0.52	15.8	950	165	785	82.6	1,827

※1: 災害後LPデータをもとに、土石流の源頭部～谷出口の勾配を算出した
 ※2: 砂防堰堤の堆積流木量は堆砂面上の流木量を計上した

大きく3タイプに分けられる。堆積タイプ(1)は源頭部や崩壊地付近に残った流木、堆積タイプ(2)は河道幅よりも長い流木が倒れたように堆積した流木、堆積タイプ(3)は上流から流れてきた土砂の堆砂面上に堆積していた流木である。以下、各流域の詳細の流木堆積状況を記述する。

樋口川について縦断的な流木の発生・堆積状況(図-3)を見ると、谷出口から600mより上流では発生流木量も少なく、堆積流木は確認されなかった。谷出口から600mより下流では主に溪岸・渓床侵食による流木の発生が確認され、250~600mの区間で多くの流木が堆積していた。そのうち300~550mの区間は河道幅が比較的狭く堆積タイプ(2)の流木が多く、0~300mの区間は溪床勾配が概ね15°未満の土石流流下・堆積勾配であり、堆積タイプ(3)の流木が多かった。堆積流木量としては堆積タイプ(2)が多く、樋口川では土石流により運搬されずに発生場所の近傍に残った流木が多かったと考えられる。

平野川について縦断的な流木の発生・堆積状況(図-4)を見ると、流木は谷出口から0~100m区間や200~300m区間を除いて流域全体で発生しており、溪岸・渓床侵食による発生が多いものの、最上流部や650~700m区間では崩壊による発生も確認された。堆積流木は崩壊により流木が発生した最上流部付近や650~700m区間で確認され、この区間には堆積タイプ(1)の流木が分布した。一方、0~350m区間は溪床勾配が概ね15°未満であり、樋口川同様、流木は上流から流れてきた堆積タイプ(3)の流木であった。堆積流木量としては堆積タイプ(3)が多く、最も堆積流木量が多い区間は河道幅が拡大する区間であった。平野川では土石流とともに流下した流木が谷出口付近の土石流流下・堆積区間に土砂とともに堆積したものが多かった

と考えられる。

なお、樋口川、平野川ともに屈曲度と堆積流木との間に明瞭な関係は確認されなかった。

③ 樋口川 (流木流出率: 1~100%, 谷出口地点 50.4%)

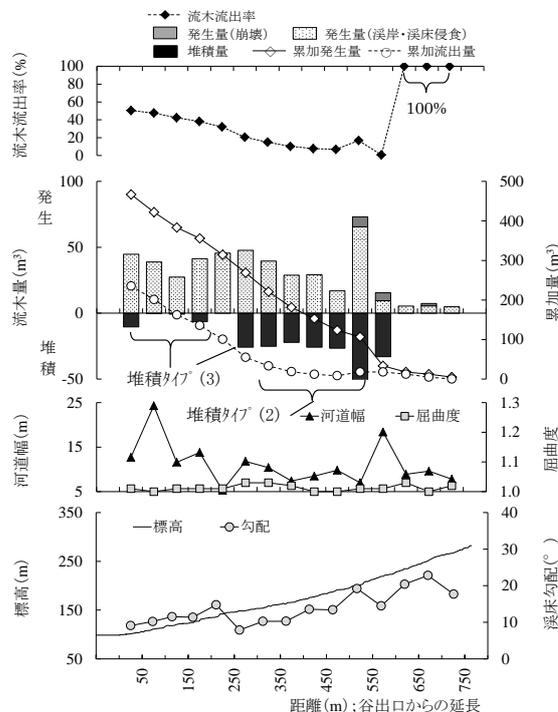


図-3 樋口川の流木収支縦断面図

④ 平野川 (流木流出率: 16~82%, 谷出口地点 69.3%)

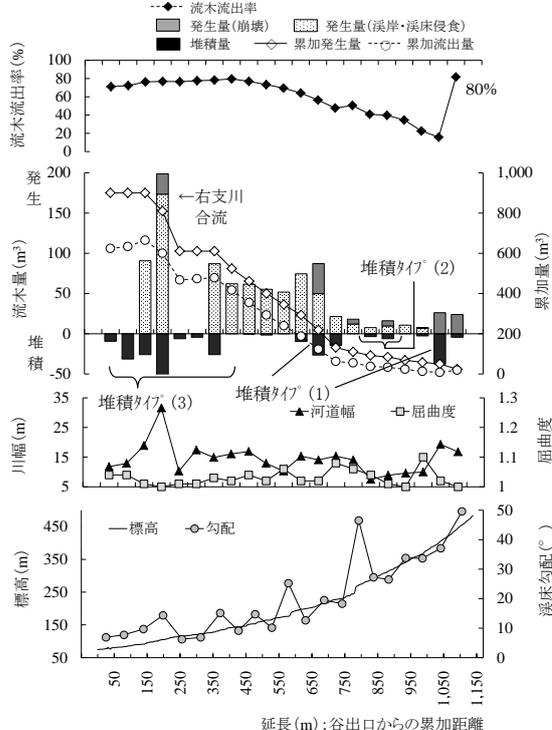


図-4 平野川の流木収支縦断面図

2. 3 境松崎川における流木の発生・堆積・流出実態

2. 3. 1 流域全体の堆積および流出実態

境松崎川における流木は崩壊・溪岸・溪床侵食の双方の原因により発生しており、溪岸・溪床侵食による発生流木量よりも崩壊による発生流木量の方が多かった。

流木の堆積形態は、那智川流域と同様に3つのタイプがあり、土石流により運搬されて堆積した溪床堆積流木（堆積タイプ（3））よりも崩壊範囲内や崩壊地直下、溪岸や溪床の立木が倒れたような残存木（堆積タイプ（1）や（2））の方が多かった。

2. 3. 2 流木収支による堆積流木の特徴分析

発生流木量と残存木量とを比較すると、発生流木量のうち12%程度は残存木として運搬されずに残っていた。

境松崎川の縦断的な流木収支から、堆積流木量の最も多い区間は、土石流堆積区間となる10°未満の緩勾配区間で、かつ河道幅が拡大する区間であった(図-5)。また堆積流木量の最も多い区間では、堆積流木は土砂とともに折損した流木が集積して堆積しており、土砂が堆積しやすい条件において土砂とともに流下してきた流木が堆積したと考えられる。なお、本事例においても屈曲度と溪床堆積流木量との間に明瞭な関係は見られなかった。

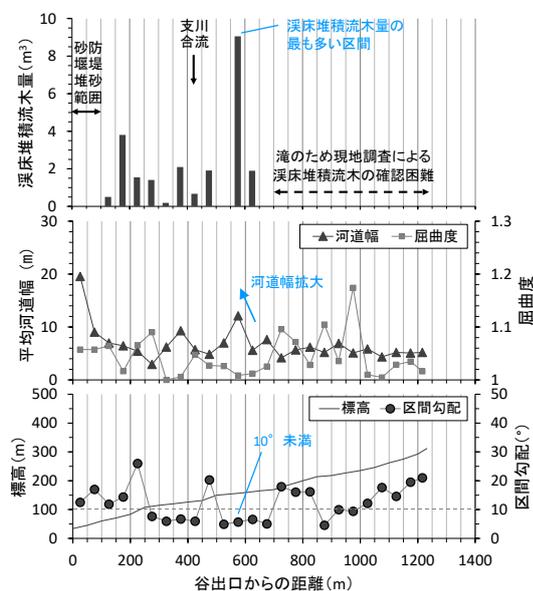


図-5 境松崎川本川の溪床堆積流木量と地形量の縦断面

2. 4 まとめ

那智川流域および境松崎川の調査結果から、堆積流木には堆積タイプ（1）や（2）のような発生源付近に残った残存木と堆積タイプ（3）のような土石流により

運搬されて堆積したものがあり、また、溪床勾配や河道幅の地形条件が流木の堆積に影響を及ぼす可能性があることがわかった。

3. 不透過型砂防堰堤による流木の捕捉と流出に関する水路模型実験

3. 1 実験の概要

土石流区間に整備された不透過砂防堰堤を対象に、堰堤に流れ込む流木量や流量と堰堤の流木捕捉量との関係を明らかにすることを目的として、室内模型水路を用いた実験を行った。模型縮尺は1/50とし、17°の勾配に設置した矩形断面の直線水路模型を用いて不透過型砂防堰堤への土石流と流木の流出を再現した。本実験で想定した堰堤等の緒元、土石流・流木及び流量に関する実験条件を表-2に、実験ケースを表-3に示す。

本実験では、当該ケースの給水・給木・給砂条件を設定し、移動床に散水した後、通水を開始して土石流を発生させ、流木を含む土石流が不透過型砂防堰堤模型に到達する状況を再現した。通水開始後は、不透過型砂防堰堤からの土砂・流木の流出タイミングにあわせて、水通しからの流出土砂と流木を水路下流端に設置した受け箱で採取した。通水終了後は、受け箱で採取した水・土砂の体積と流木の本数を測定するとともに、堆砂地内で堆積した流木と土砂の捕捉状況を写真撮影した。

表-2 実験条件の一覧表

(縮尺:1/50)							
項目	次元	縮尺*	実物	模型	備考		
不透過型砂防堰堤	有効高	L	Hr	1:50	10m	20cm	
	水通し幅(下)	L	Xr	1:50	10m	20cm	
	水通し幅(上)	L	Xr	1:50	13m	26cm	
	水通し高さ	L	Hr	1:50	2.5m	5cm	
堆砂地	堆砂地の幅	L	Xr	1:50	10m	20cm	
	堆砂地の長さ	L	Xr	1:50	22.5m	45cm	
土石流	流下水路幅	L	Xr	1:50	10m	20cm	全実験ケースで同条件とした
	勾配	—	—	—	17°	17°	堆砂地と水路の勾配
	流出土砂量	L ³	Hr・Xr ²	1:125,000	10,063m ³	80,500cm ³	全実験ケースで同条件とした
	流量	L ³ ・T ⁻¹	Xr・Hr ^{3/2}	1:17,677.7	39m ³ /s 58m ³ /s	2,200cm ³ /s 3,300cm ³ /s	実験ケース1~4は2,200cm ³ /s、 ケース5は3,300cm ³ /sとした
	通水時間	T	Xr・Hr ^{-1/2}	1:7.07	127s, 85s	18s, 12s	実験ケース1~4は18s、ケース5は12sとした
流木	長さ	L	Hr	1:50	5m	10cm	全実験ケースで同条件とした
	流木量	L ³	Hr・Xr ²	1:125,000	202m ³	1,613cm ³	実験ケース1、5 土砂量・流木量に対して2%
					100m ³	798cm ³	実験ケース2 土砂量・流木量に対して1%
					74m ³	591cm ³	実験ケース3 貯砂容量に対して2%
					37m ³	294cm ³	実験ケース4 貯砂容量に対して1%
					202m ³	1,613cm ³	実験ケース1、5 土砂量・流木量に対して2%

*フルード相似則に基づく。Xrは水平成分、Hrは鉛直成分を示す

表-3 実験ケース

実験ケース	流木条件	土砂量		流木量		流量			実施回数	備考
		体積 (cm³)	本数 (本)	体積 (cm³)	容積率 (%)	流量 (cm³/s)	給水時間 (s)	総量 (cm³)		
ケース 1	土砂量・流木量に対して2%の流木量	80,500	570	1,613	1.96	2,200	18	39,600	5	ケース1-1~1-5
ケース 2	土砂量・流木量に対して1%の流木量	80,500	282	798	0.98	2,200	18	39,600	5	ケース2-1~2-5
ケース 3	計画捕捉量と計画堆積量の合計値に対して2%の流木量	80,500	209	591	0.73	2,200	18	39,600	5	ケース3-1~3-5
ケース 4	計画捕捉量と計画堆積量の合計値に対して1%の流木量	80,500	104	294	0.36	2,200	18	39,600	5	ケース4-1~4-5
ケース 5	土砂量・流木量に対して2%の流木量(流量1.5倍)	80,500	570	1,613	1.96	3,300	12	39,600	5	ケース5-1~5-5 ケース1と同様の流木条件で、流量を1.5倍にしたケース
合計									25	5ケース×5回実施

3. 2 結果と考察

実験の結果、流木量・流量の異なる全25ケースにおいて、土石流として流下した土砂は堰堤模型で概ね全量捕捉されたか、流出した場合でもその量は僅かであったのに対し、流木は堰堤で十分捕捉されずに流出した。実験では、土砂・流木・水が一体となって堆砂地へ到達したが、堆砂地では、運動量を保持したままの水が水通し断面から流出するのと同時に、流木も流れに乗って流下する様子が確認された。流木は堆砂地面上を流れる水と共に流出し続け、通水後は堆砂上には殆ど流木は残らなかった。特に、流量を同条件とした4ケース(ケース1~4)の実験結果をもとに、流下させた土石流の流木容積率と堰堤からの流木流出率(堰堤へ到達した流木量に対する、堰堤から流出した流木量の割合)との関係を図-6に示す。同図には、参考として流量が多いケース(ケース5)の値も併記した。

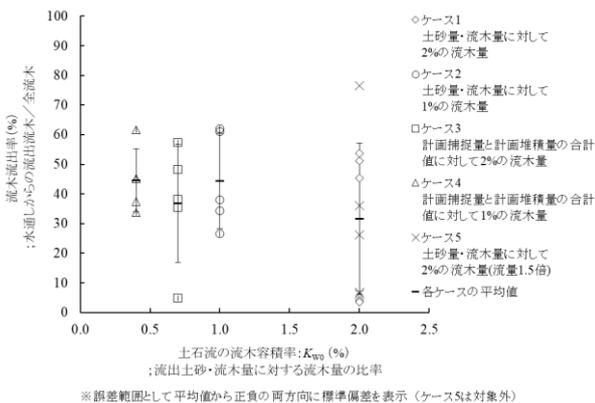


図-6 ケース1~4の実験結果

ケース1では流木流出率は4~54%(平均:32%、標準偏差:25.6)、ケース2では27~62%(平均:44%、標準偏差:16.2)、ケース3では5~57%(平均:37%、標準偏差:19.9)、ケース4では34~62%(平均:45%、標準偏差:10.7)であり、流木容積率が大きい実験ケー

スほど、流木流出率のばらつきが大きくなる傾向が見られた。

3. 3 まとめ

実験では、不透過型砂防堰堤に流下してきた流木の流木流出率は大きくばらつく結果となった。このことから、土石流発生時における不透過型砂防堰堤の流木捕捉効果は、不確実性が高いことが確認された。

4. おわりに

本研究では、流木対策を実施する上で必要な流木の堆積、流出の実態を調べるとともに、水理模型実験により土石流区間に設置された不透過型砂防堰堤からの流木流出状況を確認した。その結果、以下のことがわかった。

- 1) 堆積流木には崩壊地近傍や渓床に倒れた倒木(残存木)や土石流により運搬されて堆積した流木(渓床堆積流木)などの形態があり、渓床勾配や河道幅などの地形条件が流木の堆積に影響を与えている可能性がある。
- 2) 土石流時には、不透過型砂防堰堤による流木捕捉効果には不確実性が高い。

今後は、流木災害が発生した溪流において、縦断的な流木収支と地形量、及び堆積形態から堆積流木量の特徴を分析する事例を増やし、堆積流木量の定量的な評価を行うことで、将来的に施設設計等に必要となる流出流木量の予測精度向上につながると考えられる。

また、模型実験の結果は、一般の土石流危険溪流や砂防堰堤の規模を想定したうえで設定した一定の実験条件下で得られたものである。不透過型砂防堰堤からの流木の流出は、土石流の流下形態、砂防堰堤周辺の渓床勾配、堆砂地や袖部の形状など多くの要因が関係する複雑な現象であることから、今後はこれらの条件を考慮した検討を行う必要がある。

参考文献

- 1) 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」、国土技術政策研究所資料、第904号、2016年4月
- 2) 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」、国土技術政策研究所資料、第905号、2016年4月
- 3) 石川芳治・水山高久・福澤誠:「土石流発生に伴う流木の発生および流下機構」、砂防学会誌(新砂防)、42(3)、pp.4-10、1989年9月
- 4) 松村和樹・藤田正治・山田孝・権田豊・沼本晋也・堤大

- 三・中谷加奈・今泉文寿・島田徹・海堀正博・鈴木浩二・徳永博・柏原佳明・長野英次・横山修・鈴木拓郎・武澤永純・大野亮一・長山孝彦・池島剛・土屋智：「2011年9月台風12号による紀伊半島で発生した土砂災害」、砂防学会誌、64(5)、pp.43-53、2012年1月
- 5) 石川芳治・池田暁彦・柏原佳明・牛山素行・林真一郎・森田耕司・飛岡啓之・小野寺智久・宮田直樹・西尾陽介・小川洋・鈴木崇・岩佐直人・青木規・池田武穂：「2013年10月16日台風26号による伊豆大島土砂災害」、砂防学会誌、66(5)、pp.61-72、2014年1月
- 6) 古川浩平・海堀正博・久保田哲也・地頭菌隆・権田豊・杉原成満・林真一郎・池田暁彦・荒木義則・柏原佳明：「2009年7月21日山口県防府市での土砂災害緊急調査報告」、砂防学会誌、62(3)、pp.62-73、2009年9月
- 7) 黒岩知恵・藤村直樹・木下篤彦・水野秀明・今森直紀・福田和寿：「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、pp.127-132、2016年9月
- 8) 染谷哲久・藤村直樹・山崎祐介・石井靖雄・西井洋史：「鹿児島県境松崎川における流木堆積箇所の特徴」、砂防学会研究発表会要旨、pp.455-456、2019年5月
- 9) 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：不透過型砂防堰堤による流木の捕捉と流出に関する実験報告書、土木研究所資料、第4331号、2016年3月
- 10) 宮縁育夫・清水晃・小川泰浩：「九州北部の山地河川に堆積する倒・流木と土砂」、砂防学会誌、52(1)、pp.21-27、1999年5月
- 11) 国土交通省近畿地方整備局紀伊山地砂防事務所：那智川流域土砂災害発生機構等調査業務報告書、2015年3月

A Study on advancement of driftwood countermeasures based on its Actual situation of transport

研究期間 : FY2015-2018

担当チーム : Erosion and Sediment Control Research Group
(Volcano and Debris Flow Research Team)

研究担当者 : ISHII, Yasuo, FUJIMURA, Naoki,
MIZUNO, Hideaki, KINOSHITA,
Atsuhuko, IZUMIYAMA, Hiroaki,
AKAZAWA, Fumiaki

Abstract : In order to promote effective countermeasures against driftwood, it is necessary to estimate the total driftwood volume, the runoff rate of driftwood, and the amount of driftwood that can be captured by the control structures, appropriately. In this research, we investigated the substance of occurrence, sediment, and runoff of driftwood in some driftwood disasters and considered the influencing factors of accumulation of driftwood which is necessary for planning and designing driftwood control structures. In addition, we confirmed the runoff rate of driftwood from closed-type sabo dam by experimenting models. As a result, sedimentary driftwood has some forms of sedimentation, such as those that fell near the collapsed slope and those that were transported and deposited by debris flow, and it was inferred that the topography condition of gradient and river channel width had an effect on the driftwood sedimentation. In the model experiment, the driftwood runoff rate from the closed-type sabo dam was greatly varied, and it was confirmed that the driftwood trapping effect of the closed-type sabo dam during debris flow was highly uncertain.

Key words : driftwood sedimentation, runoff rate, effect of closed-type sabo dam against driftwood

