

第2章 流木による災害の実態

2.1 概説

流木に関する研究が土砂の研究に比較して遅れているのは、その災害原因に対する認識の低さによるものと考えられる。“土砂災害”と呼ばれるものは毎年全国各地で発生しており、その認知度は高い。被災した現場が土砂で埋まっていれば、これは土砂災害と判断されるのが一般的傾向である。しかしそのような災害において、土砂の到達した経路をたどってみると流路の狭窄部、橋脚に大量の流木が堆積しており、この土砂・流水の流下断面が閉塞されたことにより災害が助長されたと判断できることが多くある。入手可能な災害資料のうち、“流木”という言葉が使われているものを表 2.1 に示す。災害誘因は土砂災害と同様梅雨・台風などによる豪雨、発生した樹木はスギ・ヒノキなどの人工林が多い傾向にある。死傷者の数は 1983 年の島根災害で 100 名を超えて以降は減少しているが、流木災害と土砂災害の違いが明確に分類できず、表 2.1 には土砂災害により失われた人的損害も含まれている。

災害対策を考えるには、その発生源、発生量、流出量、堆積量などのデータを定量的に解析することが必要である。石川らの報告¹⁾や流木対策指針(案)²⁾に流木対策のための調査内容が示されているが、実際の災害現場では流木に起因した災害という認識が低く、また早期災害復旧の必要性から速やかに除木が行われることが多く、示された項目通りの実態調査資料が少ないのが現状である。このような状況にあって 1977 年長崎災害、1987 年山形県温海町災害、1988 年広島県北西部災害などは、流木の実態が比較的詳細に調査された例である。これらの災害資料を基に水山ら³⁾は発生流木量と流域面積・生産土砂量などの関係把握を試みている。これ以降に発生した流木災害の記録を加え、流域面積と発生流木乾材積の関係、及び生産土砂量と発生流木乾材積の関係を、図 2.1、2.2 にそれぞれ示す。図中には流木対策指針(案)で示された上限値を表す線と式を挿入した。1993 年大分県で発生した流木乾材積が上限値を超えているが、これは 1991 年に風倒木となったものが流出してきた結果であり、概ねこの上限値は発生流木量を推定するのに妥当と言える。しかし、まだデータの絶対量が不足しており今後の資料蓄積が重要な課題である。

また、前述の 1991 年大分県山間部を中心とした風倒木災害後、流木の流下を予測し多くの流木対策施設が施されたことによって、2年後の出水における流木の被害を最小限に

表 2.1 流木災害に関する記録(1)

1	県・郡	災害地 流域	河川	発生年月	災害原因	発生原因	損壊	発生本数	流出本数	流出率	生産土砂量 (m ³)	平均崩壊深 (m)
1	神岡	六甲山系	宇治川	1938年7月5日								
2	福岡県・熊本県	筑後川流域		1953年6月25日								
3	熊本県	熊本市	白川	1953年6月26日	梅雨前線							
4	和歌山県	有田市	有田川	1953年7月18日								
5	長崎県	諫早市	本明川	1957年7月25日								
6	静岡県	修善寺	狩野川	1958年9月28日								
7	兵庫県	神戸市	宇治川	1967年7月9日	台風							
8	長野県	木曾郡南木曾町	与川・梨子川	1969年8月								
9	香川県	小豆島	勝賢瀬川	1975年								
10	香川県	小豆島	橋川	1978年9月10日								
11	長崎県	長崎市	長崎寺川	1982年7月23~24日	梅雨前線							
12	長野県	南都	穂川	1982年7月23~24日								
13	長野県	南都	穂川	1982年7月23~24日								
14	長野県	西都	三盛川	1982年								
15	京都府	五條町	益田川・浜田川・三隅川・周府川	1983年7月20~23日	梅雨前線							
16	山形県	西田川郡温海町	希目川・白砂川 嵐ヶ瀬川・小国川流域	1986年7月20~22日 1987年8月28~29日	台風 低気圧による大雨							
17	熊本県	高森町	冬野川・緑川・白川	1988年5月								
18	新潟県	長岡市	浦瀬川	1988年7月								
19	広島県	山県郡加計町	江河内合川・中西平合川	1988年7月20~21日	集中豪雨	山腹崩壊		60~5400 本/km ²			400~ 65800m ³ /km ²	
20	島根県	浜田市	下府川・今井迫川	1988年7月15日	集中豪雨							
21	愛知県	北設楽郡豊根村	天竜川水系坂宇場伊香川 川左小支川	1988年9月2~3日	低気圧による大雨	山腹崩壊		1791	1527	85.26	5487.5	
22	愛知県	旭町・岐阜郡岩村町	矢作川	1988年9月20日	梅雨前線							
23	熊本県	阿蘇郡一の宮町	古恵川	1990年7月1~2日	梅雨前線	山腹崩壊・溪岸侵食		85000	51000		634000	1.3
24	長崎県	有明町	湯江川	1991年6月30日								
25	三重県	熊野市	井戸川	1991年9月19日								
26	大分県	日田郡津江村	熊野川	1991年9月	台風	山腹崩壊						
27	大分県	大分県	田ノ口川	1991年9月								
28	大分県	大分県	川原川	1993年6月	梅雨前線	91年の倒木流出	人工林	2833	2339	82.563		
29	長野県	新潟県	ユウジツ合川	1993年6月								
30	熊本県	那珂川水系	小平川	1993年6月	台風	91年の倒木流出	人工林	277	277以上	60	62700	1
31	広島県	広島市	尾形川	1993年6月								
32	長野県	新潟県	姫川	1995年7月11~12日	梅雨前線	溪岸侵食	人工林・森林	8422	6738	80.005		
33	熊本県	那珂川水系	余笹川	1998年8月27日	台風	山腹崩壊・土石流	人工林・森林	8042	8042	100.000		
34	広島県	広島市	荒谷川・古野川・堂ヶ原川・屋代川 他	1999年6月30日	梅雨前線							

* 空欄は不明を表す

表 2.1 流木災害に関する記録(2)

時間	降雨量(mm)		流域面積(km ²)	流路長(km)	河床勾配	被害状況			その他					
	最大	日最大				死者	不明	負傷		全壊	半壊	損壊		
1										概要				
2						死者5,000以上	全半壊家屋13,000			土流とともに流下した流木が宇治川の橋梁部につきり土石流の発生を引き起こした。				
3						3死・不明422	1077	2585	6517	洪水とともに流木流下し橋梁を塞ぎ、堤上げ等により被害増大。				
4						4	505	家屋130,192		阿蘇の3ヶ所を含んだ泥流が流下。橋梁流出85橋。木橋も多				
5						5死・不明539	727	3309		く、橋自体が流木の生産源となった。以降橋脚への基礎見				
6						6	194	家屋19754						
7						7	92	家屋746						
8						8								
9						9				流木被害大				
10						10	50	212	410	流木橋にかかり洪水・土砂氾濫				
11	187	448	562	1,436	12.6'	11	299	5	805	584	954	1111	浸水・農地・その他	砂防ダムが土石流を止めたが流木が流路工を閉塞し土砂・我が国最大の時間雨量
12						12								美和ダムに多量の流木
13						13								
14	90		351			14	104	4	439	312	695			流木が天然ダムを形成。これが崩壊することにより土石流
15	58	310				15	1	2	11	9				橋梁・カバートに流木がつまり土砂が氾濫した。厚砂状泥
16	61		308			16		4	2	1	1			だった砂防ダム堆砂の上で土石流・土砂流・流木が停止
17						17	6		54	36				橋に流木がつまり土石流が溢れて人家を襲う
18						18								橋を流木が塞ぎ洪水が河道から溢れて浸水被害
19	57	236(6hr)	344			19	11	10	22	14				立木群が土砂・流木を擁護し被害を抑えた。林道建設が
20	100	342(6hr)	395			20	2	3	27	61	65	195		被害増大? 広葉樹浸透能針葉樹の2.5倍。
21	56	208(8hr)	479	0.8		21	1	1	1	1				流木橋にかかり増水に拍車。民家襲った流木直径40cm。
22						22	3		22	23				砂防ダムで土砂は停止したが流木・流水が越流し直接人家
23	71	374	601	9.75		23	11	12	91	78	307			を襲った。崩壊物質の大部分は林道の盛土。
24						24			1	8				砂防ダムで巨礫は擁護したが火山灰を含んだ泥流と流木
25						25	2		2					が氾濫し流下、積雪流木が塞ぎ氾濫して人家を襲った
26	37.5	300	170(6hr)	0.02	15'	26								磐仙岳土石流災害。
27	70	275		0.14	20'	27	5							強風で風倒木が多く発生。
28	118	396	410	0.84	1/10	28								
29						29								1991年9月の台風によって発生した風倒木が多く流出した
30	90	607	1253	97	37.2	30	7	44	33	30				が流木補修工により大きな被害なし。ダムへの流木流入被
31	63	271	442	-	-	31	31	14	64	74	49			台風に伴う集中豪雨で古い氾濫源に繁茂した森林が大

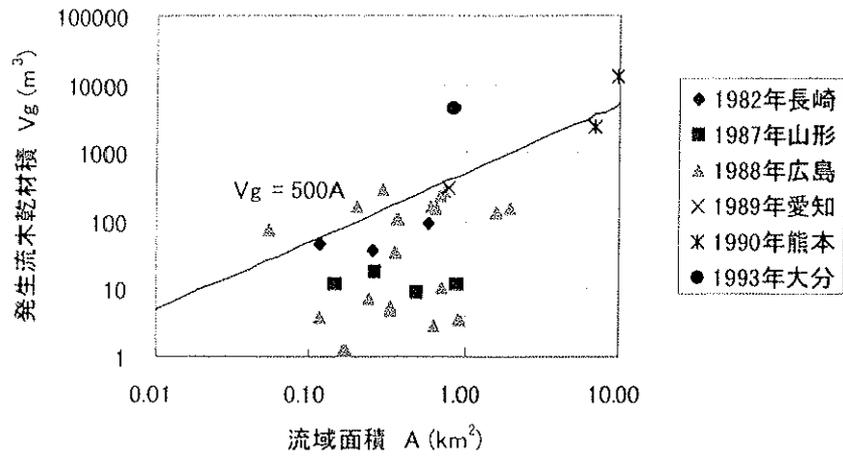


図 2.1 流域面積と発生流木乾材積

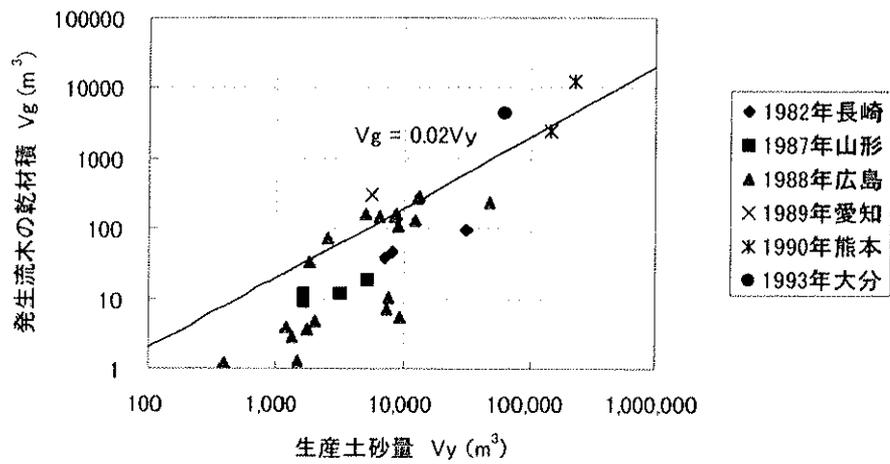


図 2.2 生産土砂量と発生流木乾材積

とどめたことは、対策工の効果を実証したものである⁴⁾。

この章では近年発生した流木災害のうち、自然河道に堆積した栃木県余笹川の事例と、発生した流木の流出が不透過型砂防ダムの影響を受けた鹿児島県垂水市の事例をまとめ、流木の堆積と再移動の実態を報告する。

2. 2 1998年栃木県余笹川の事例

2. 2. 1 災害の概略

1998年8月26日から栃木県北部に降り始めた雨は、停滞する前線に南から湿った空気が流れ込み局地的な豪雨となった。このため那珂川水系余笹川は大洪水となり、流域各地に甚大な被害を与えた。栃木県の災害報告⁵⁾によると、この災害による死者は7名、被災家屋は全壊44戸、半壊33戸、一部損壊30戸、床上浸水516戸、床下浸水2,361戸と記録されている(1998年9月14日現在)。那須町は高原のなだらかな丘陵を利用した酪農が主要な産業の一つであり、こうした畜産業、下流での水田・畑などの農地被害、水産関係も含めた農林水産業の被害は総額およそ36億円と見積もられている。さらに流木を含む洪水流下物は下流の那珂川を流下して太平洋沿岸に漂着し、その量は大洗町で9,600t、大洋村4,600t、波崎町4,000tに達し、港湾作業や観光の妨げとなってその除去に多額の予算がすぎ込まれた。

この災害では多くの橋梁が流失した。被災直後の状況を観察すると、残った橋脚上流側に大量の流木が集積しており、通水断面が閉塞されたことにより洪水が偏流して側岸侵食を起こした、或いは堆積した流木が局所流に拍車をかけ橋台・橋脚基礎を洗掘し橋梁破壊に至ったことが推察される。流木による災害はこれまでも報告されているが、その発生・流下・堆積の実態は不明な点が多く、対策を講じるためには実態を把握するための資料の蓄積が不可欠である。ここでは現地の概要、発生誘因の降雨量、災害を引き起こし被害を拡大した一つの要因である流木の発生源・堆積場所・流木収支などを報告する。

余笹川は那須連山にある標高1,896mの朝日岳付近を水源とし、栃木県那須町川田で那珂川と合流する延長37.2km、流域面積97km²の一級河川である。標高差は約1,700m

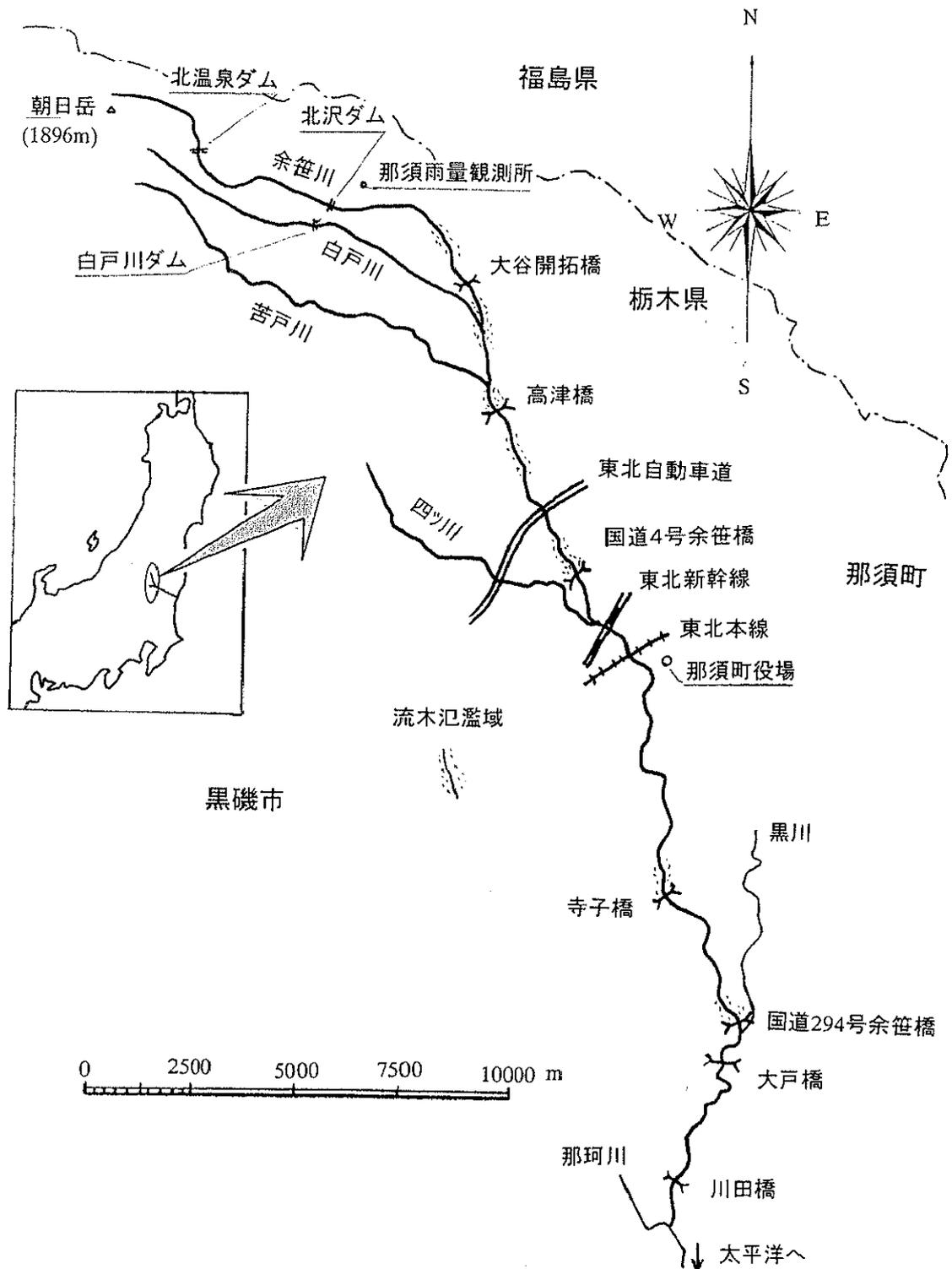


図 2.3 栃木県余笹川流域概略図

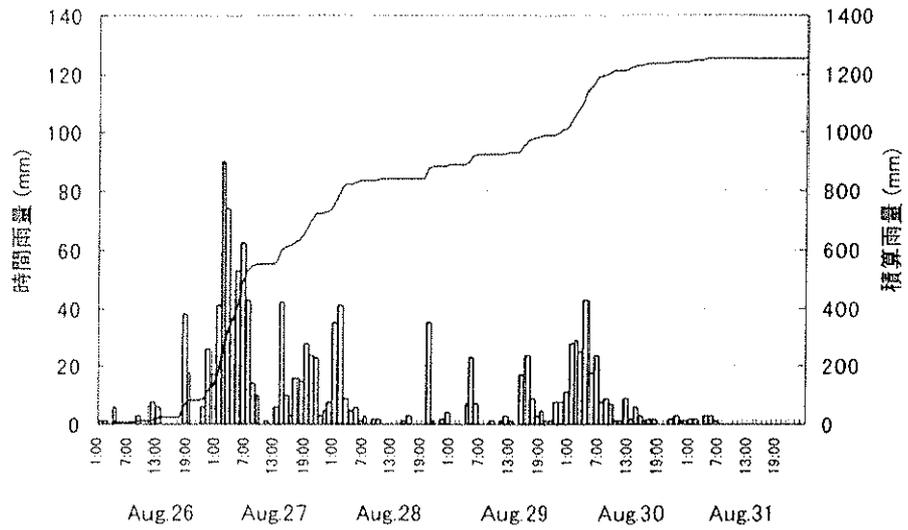


図 2.4 気象庁那須観測所における降雨量推移

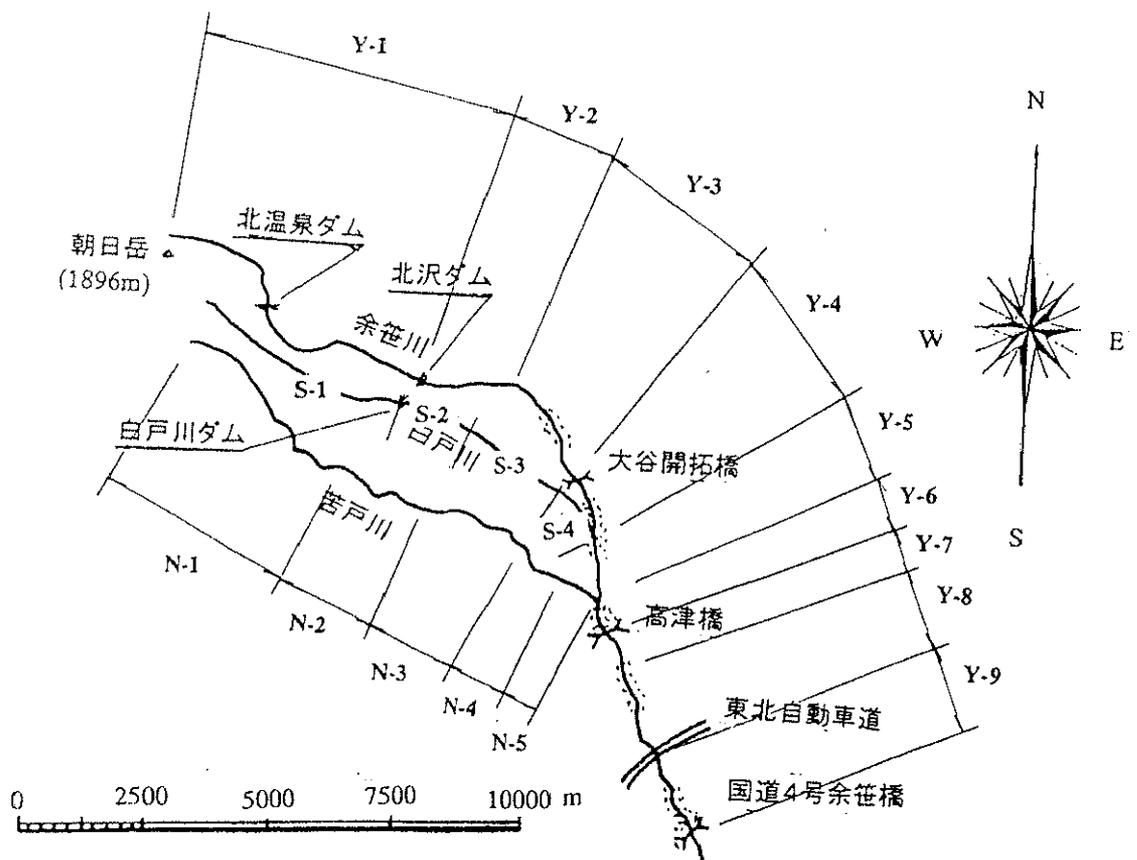


図 2.5 余笹川・白戸川・苦戸川区間図

あり、平均河床勾配は 4.6 %になる。上流から順に白戸川、苦戸川、四ツ川、黒川と合流し那珂川に流れ込み（図 2.3）、やがて茨城県大洗町で太平洋に流出する。

北西部の地質は中性噴出岩である安山岩で構成され、その上部を火山灰の厚い層が覆い、表土はよく発達している。南東部一帯は八溝山塊域を形成する岩石や、第三紀層・第四紀洪積層などが見られる。

植生は標高差とともに変化している。標高 1,700 m 以上の那須連山山頂一帯は高山植物地帯で、この辺りから 1,200 m 付近まではオクヤマザサ、チシマザサ、クマイザサ、ヤヒコザサ等の笹類が、広範囲にわたって群生している。笹に続くのは牧場景観の草生地、及び落葉樹林である。標高が下がるにつれ、スギ・ヒノキの人工林が多くなり、河川周辺にはコナラ・クヌギ等広葉樹も見られる。植物分布の特徴として、地理的に温帯植物の分布圏内に属するが、北方系植物と南方系植物の境界に位置しており、両者の植物が混在していることがあげられる。

図 2.4 に余笹川上流部にあたる気象庁「那須」観測所で記録された時間雨量の推移を示す。この観測所は那須岳東側中腹部の標高 749 m に位置しており、平地部に比較して通常雨量が多い。今回の降雨においても下流部にあたる「大田原」観測所、「白河」観測所に比較し、2～3 倍の降雨量となっている⁹⁾。雨は 8 月 26 日未明より降り始め、午後 6 時に時間雨量 38 mm、27 日の午前 2 時には今回の一連の降雨で最大の時間雨量 90 mm を記録した。住民らの証言より町道高津橋が流失したのは 8 月 27 日早朝未明であり、雨量がピークを記録した時間とほぼ一致する。降り始めから 9 月 1 日午前 0 時までの総雨量は 1,253 mm に達し、これは年間平均雨量の約 7 割を占めるものである。

2. 2. 2 流木の実態

1) 調査の方法と結果

流木の発生量が多かったと思われる余笹川と、その支川の白戸川・苦戸川を対象として流木調査を行った。調査の目的は発生源・堆積地を特定し、その原因を明らかにすること、発生量・堆積量を測定し、流木収支を把握することである。

発生源及び堆積地の調査は現地を踏査し、その後空中写真で確認する方法で行った。災害直後の踏査により発生原因を推定し、堆積量を本数、代表長さ・直径より概算した。

大量の流木が重なり合い本数の計量が難しい場合は、その堆積容量から推定した。また災害前後の空中写真から、現地踏査結果を踏まえて発生源である崩壊地・侵食範囲、堆積範囲を特定し、その地域を平面図に移して面積を測定した。

発生量は現地で発生源とほぼ同じ植生と推定される場所を選定し、コドラート調査を実施して推定資料とした。コドラート調査は各河川ごとに雑木林、斜面林及びスギ林に区分し、それぞれの区分域を 10 m X 10 m の範囲を基本としてその立木密度・胸高直径・樹高を測定した。現地の条件によりこの面積がとれない場合は、測定可能な範囲で実施した。崩壊地に近いコドラート調査結果から、平均胸高直径・平均樹高より樹木 1 本あたりの材積を求め、立木密度と崩壊地面積を乗じるという方法で発生量を計算した。なお流木調査範囲は、国道 4 号線余笹橋より上流とした。余笹川本川を 9 区間、白戸川を 4 区間、苦戸川を 5 区間に分割し（図 2.5）、その区間ごとの発生流木量・堆積流木量を測定し、それぞれの区間の流木収支を把握した。以下に各河川における調査区間毎の流木発生・堆積状況を記す。

a) 余笹川（図 2.6）

① Y 1 区間（源頭部－北沢ダム）

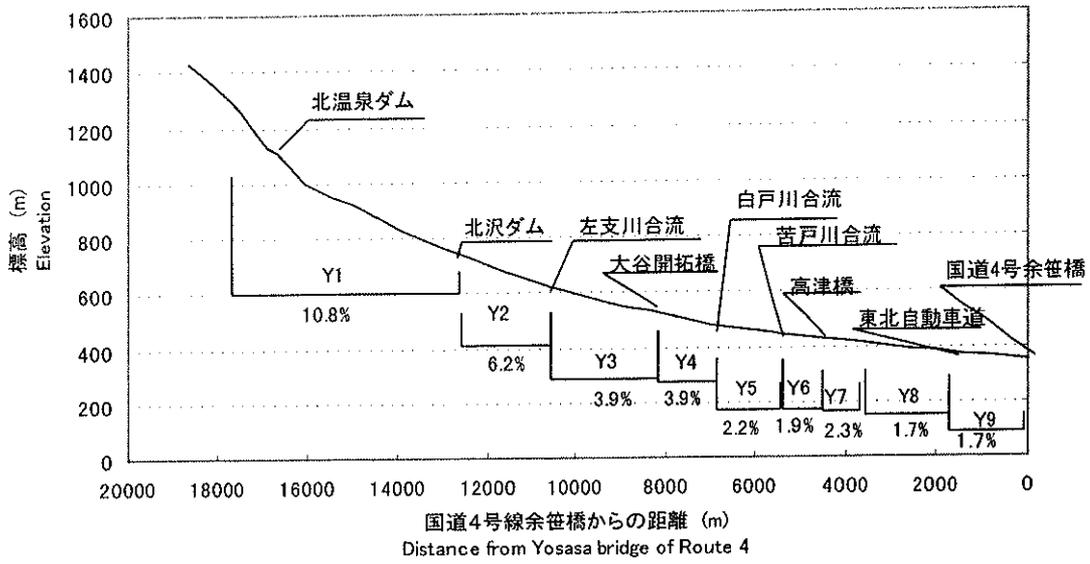
この区間に土砂・流木の顕著な堆積は見られなかった。北沢ダム（砂防ダム）は災害発生直後の調査で満砂状態であったが、堆砂地上に流木は認められるものの、その量は少なく、また流木の状態（腐食していたり表面に苔類が見られる）から推定するとその流出時期は古い。最近流出したと思われる流木（枝葉・樹皮が残っている）もあるが堆積量が少なくまた細く短いものが多く、下流の災害をもたらしたものではないものと思われる。堆砂地上に植生するハンノキ等を観察しても冠水した様子は認められず、今回の災害原因となった流木が発生したのはこれより下流と思われる。

② Y 2 区間（北沢ダム－左支川合流点）

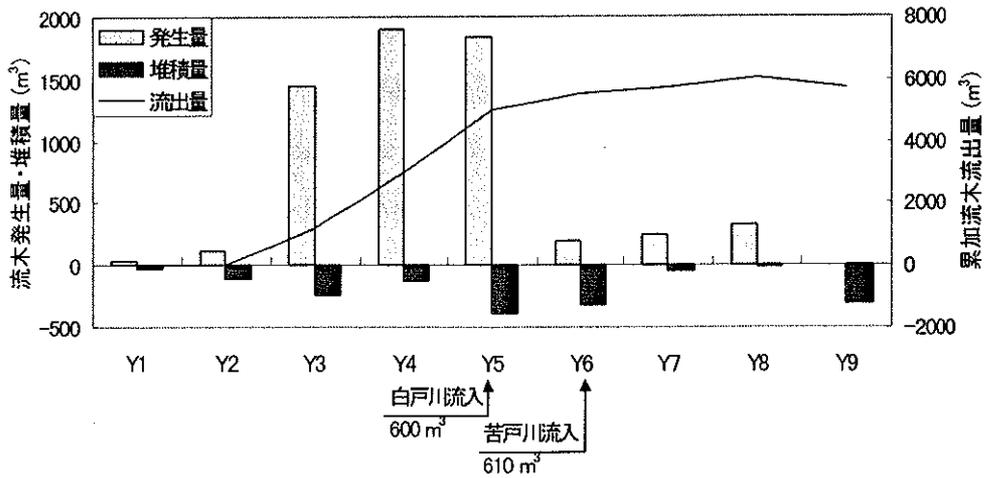
本区間では計 7 カ所の崩壊地が確認されたが、そのうち 6 カ所は本川から離れた段丘上に土砂・流木が堆積しており、下流へ流出した形跡は見られない。溪岸侵食もほとんど発生していなかった。

③ Y 3 区間（左支川合流点－大谷開拓橋）

崩壊地は 3 カ所あるが土砂・流木はその直下で停止していた。しかし大谷開拓橋より上流約 1.2 km の区間で溪岸侵食が見られ、流木の発生源となったことが推察され



(a) 余笹川縦断面図



(b) 余笹川流木収支図

図 2.6 余笹川縦断面図及び流木収支図

る。橋の上流 700 m 地点で左岸側から小さい支流が合流しているが、この合流点に今回の出水で溪畔林が中州状に取り残され、この上流側に顕著な流木の堆積が見られた。また侵食を免れた兩岸の溪畔林にも流木の堆積が目立った。大谷開拓橋の橋脚上流側にも流木が少量堆積しているが、橋は被害を受けておらずほとんどの流木はこれより下流へ通過した。

④ Y 4 区間（大谷開拓橋－白戸川合流点）

本区間の崩壊地は 7 カ所確認され、そのうち本川に崩壊が到達しているのは 5 カ所である。大谷開拓橋から下流へ向かって余笹川は左右に蛇行していたが、今回の洪水は直線状に流下し、その途中にあった溪畔林を押し流した。残留した立木には大量の流木や笹類が引っかかって停止していた。流木は針葉樹と広葉樹が半々程度であり、根・枝・葉を残しているものも多く、発生源は近いものと思われる。

⑤ Y 5 区間（白戸川合流点－苦戸川合流点）

この区間の崩壊地は少なかったが、余笹川沿い区間全域にわたって溪岸・溪床が侵食され、大量の流木が発生した。白戸川合流点から下流 300 m の左岸側は別荘地として利用されていたが、今回の出水により流路は別荘地を左岸側・右岸側 2 つに分断した。中州状に残された別荘地を含む溪畔林上流側には大量の流木堆積が認められた。溪畔林の侵食範囲も広く、流木の大量発生源となった。苦戸川合流点の上流側にスギの植林地があったが、今回の出水により侵食され大量に流出した。

⑥ Y 6 区間（苦戸川合流点－町道高津橋）

高津橋は右岸側橋台が侵食され流失し、通行不能となった。大量の流木が橋脚上流側に堆積しており、流水は通過断面が狭められたことにより堰上げられて右岸側にまわり流失させたものと推測される。堆積している流木はスギ・マツ等の針葉樹が比較的多いが、中には別荘地から流下してきたものと思われる建材も見られた。笹類も流木と共に大量に堆積していた。橋の上流右岸側の溪岸侵食が著しいが、この近辺の溪畔林は広葉樹が多く、橋脚に堆積・停止した針葉樹の流木は上流から流下してきたものと思われる。橋の上流側に砂礫が堆積して河床上昇が起こり、その高くなった箇所にも流木の堆積が目立った。

⑦ Y 7 区間（町道高津橋－流路工上流端）

この区間の兩岸に斜面は存在せず、崩壊地もない。しかし溪岸侵食を受けており、流木の発生源となったものと思われる。この区間の河床に形成された砂礫堆上に流木

の堆積が見られた。

⑧ Y 8 区間（流路工上流端－流路工下流端）

流路工区間は護岸が機能を発揮し、側岸侵食はなかった。流路工上流端から 100 m 下流に人道橋が架かっていたが、右岸側の一部を残して流失した。橋の残骸に多量の流木が堆積しており、また流路工内の砂礫堆上でも流木の堆積が見られた。

⑨ Y 9 区間（流路工下流端－国道 4 号線余笹橋）

余笹橋は左岸側が侵食されて橋台を流失し、橋直上流右岸側は大きく侵食された。右岸を侵食した洪水流が対岸側に回ったことが原因と思われる。調査した時点で流木は既に撤去されていたが、被災直後に撮影された写真を見ると、流木は橋脚上流側へ大量に堆積していた。また余笹橋の上流で砂礫堆が発達し、洪水流の蛇行が見られた。砂礫堆上には洪水に取り残されたとと思われる流木が堆積していた。

b) 白戸川（図 2.7）

① S 1 区間（源頭部－白戸川ダム）

この区間では崩壊地もなく、溪岸侵食も見あたらない。白戸川ダムは余裕高 1.5m を残して未満砂であり、流木の堆積も認められなかった。

② S 2 区間（白戸川ダム－県道白戸橋）

崩壊地はあるものの、流木はその崩壊地直下に堆積し、下流への流出はほとんど認められなかった。また測岸侵食もほとんど認められなかった。

③ S 3 区間（県道白戸橋－県道白戸川橋）

崩壊地は 19 箇所確認でき、また溪岸侵食も多く見られ、流木の発生源となった。当区間は湾曲部も多く、その内湾側の河床が高くなった場所で流木が堆積していた。

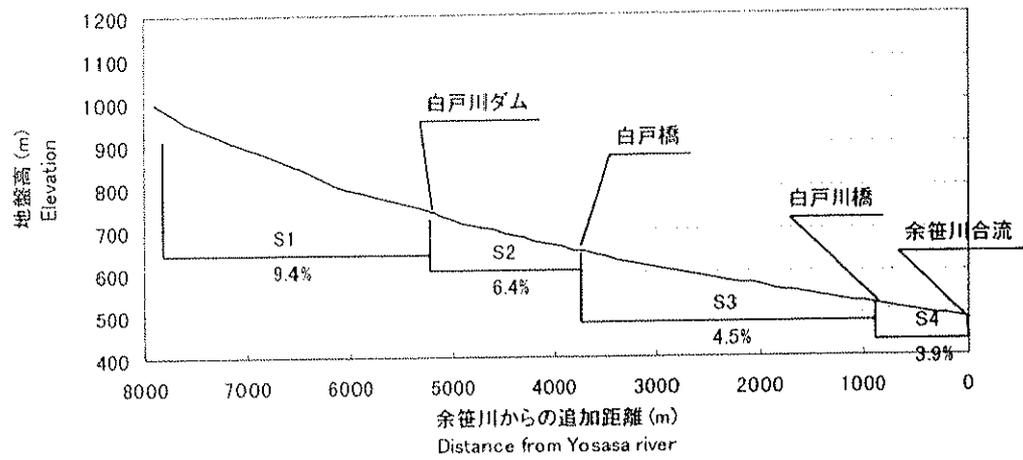
④ S 4 区間（県道白戸川橋－余笹川合流点）

崩壊地は 3 箇所のみでその規模も小さい。しかし溪岸侵食による流木が多く発生していた。この区間は溪床幅が広がっており、水位の低下によることが原因と思われる流木の堆積が見られた。

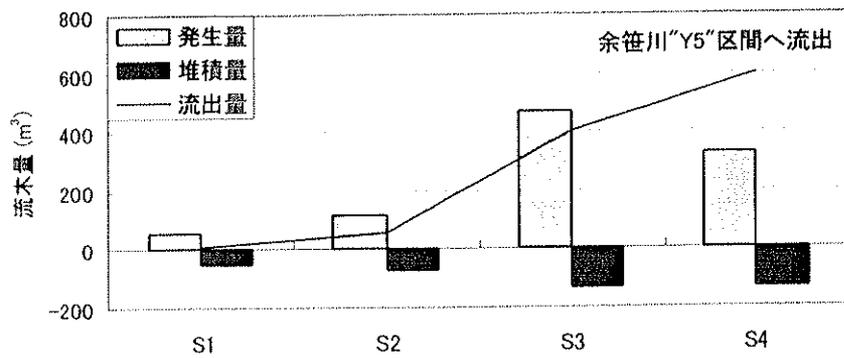
c) 苦戸川（図 2.8）

① N 1 区間（源頭部－御用邸内丸木橋）

溪岸の植生に目立った増水の痕跡が見あらず、この区間ではほとんど発生及び堆

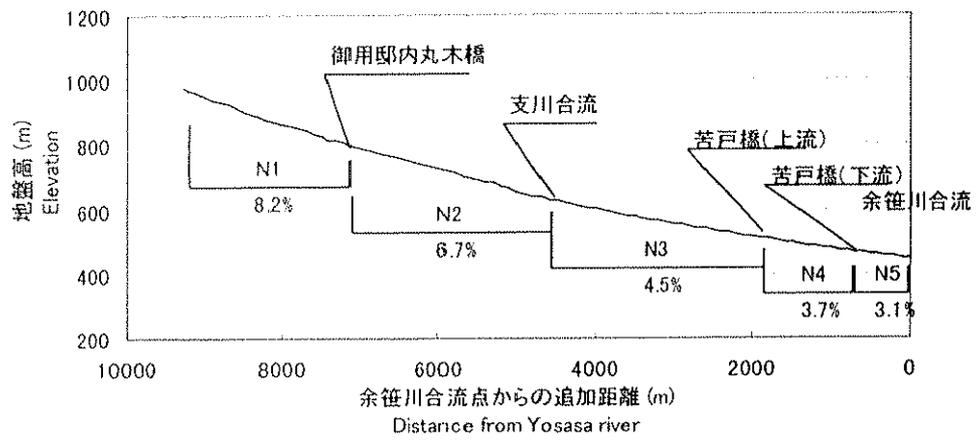


(a)白戸川縦断面図

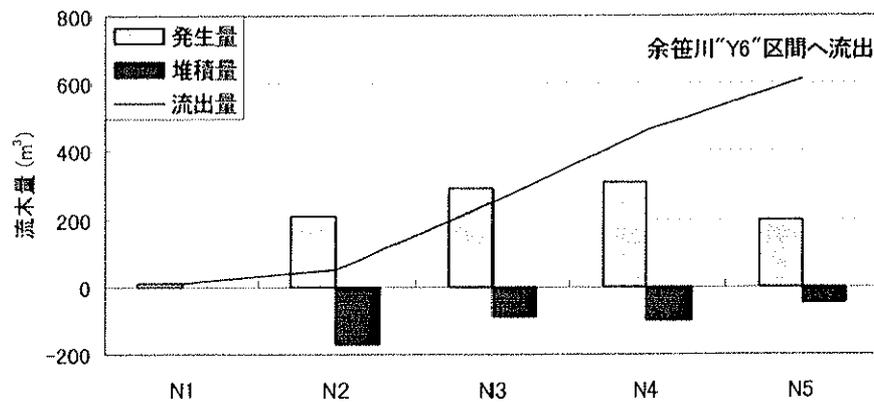


(b)白戸川流木収支図

図 2.7 白戸川縦断面図及び流木収支図



(a) 苦戸川縦断面図



(b) 苦戸川流木収支図

図 2.8 苦戸川縦断面図及び流木収支図

積は認められなかった。

② N 2 区間（御用邸内丸木橋－別荘地西端支川合流点）

崩壊により流木も発生したがほとんどその直下で停止しており、下流へ流下した形跡は見られない。しかし側岸侵食は多く、流木の発生源となっている。

③ N 3 区間（別荘地西端支川合流点－県道苦戸橋（上流））

崩壊は 16 箇所あったが、そのほとんどは直下に堆積していた。しかし側岸侵食が多く見られ、流木の発生源となっていた。この区間の溪岸にスギの植林が目立つ。

④ N 4 区間（県道苦戸橋（上流）－県道苦戸橋（下流））

崩壊は少ないが、溪岸侵食が目立ち、多くの流木が発生した。この区間の溪畔林は落葉広葉樹林が占めている。区間溪流沿いに流木の堆積が認められた。下流側の県道苦戸橋でもまとまった量の流木が堆積していた。

⑤ N 5 区間（県道苦戸橋（下流）－余笹川合流点）

N 4 区間と同様、崩壊地はほとんどなく、この区間でも流木の発生は溪岸侵食によるものである。余笹川合流点上流側の流路湾曲部で、余笹川へのショートカットが生じており、湾曲部の上流側で流木の堆積が認められた。この区間ではスギの植林地が多い。

2) 流木の発生形態

流木発生形態は、①斜面の崩壊により立木が崩土とともに谷底まで押し出され、洪水流によって二次移動し流木化したもの、②洪水流が段丘面に冠水していない段階で、溪岸が流水による侵食を受け、その上に生育していた立木が流出したもの、③高水敷（普段は流水のない河原面）や段丘面が冠水によって侵食を受け、その上に生育していた立木が流出したもの、に分類できた。発生量では特に溪岸・溪床侵食に起因する、溪畔林の流木化によるものが多かったことが特徴としてあげられる。災害を引き起こした今回の出水まで長い間増水がなく、溪畔林が河川内に深く進入して河川の堤内・堤外境界が見分けにくくなり、堤外地（河川内）の一部が農地或いは別荘地として利用されていた。

3) 流木の堆積形態

流木の堆積形態は、①構造物により停止したことによる堆積、②溪畔林等の立木に引っかかることによる堆積、③水位が低下し河床との摩擦による堆積、の3つに分類でき

た。

構造物とは主に橋の橋脚上流側に堆積したもので、特に調査区間内では高津橋（写真 2.1）、国道 4 号線余笹橋の上流側で顕著に見られた。その他流失した人道橋のガードレールが河川内に残留し、そこに流木が堆積したケースも見られた。

立木により捕捉されたのは、溪岸・溪床の溪畔林に引っかかって堆積したものである（写真 2.2）。出水前の溪畔林は溪流内に深く進入して繁茂しており、堤内・堤外の境界は曖昧であった。

水位の低下に伴い河床との摩擦で堆積した流木は、河川内に形成された砂礫堆上で見られた（写真 2.3）。また特に流木が集積して被災した橋梁の上流部で河床上昇が起こり、その高くなった場所に堆積したものも見られた。

4) 流木収支

図 2.9 に余笹・白戸・苦戸川流木収支を示した。主な流木の発生源は、図 2.6 (b)より余笹川の Y3～Y5 区間、すなわち大谷開拓橋上流から苦戸川合流点までの間であり、全発生量の 64%を占めた。側岸侵食による溪畔林の流木化が主な発生形態であった。Y6 及び Y9 区間の堆積はそれぞれ町道高津橋と国道 4 号余笹橋の橋脚上流側に堆積したものである。その他の区間で堆積したのは溪畔林への引っかかり、砂礫堆への乗り上げによるものである。特に Y5 区間の堆積は、流出を免れた溪畔林への流木堆積が多かった。また白戸川・苦戸川から余笹川本川にそれぞれ 600 m³、610 m³の流木が流入したが、これは国道 4 号余笹橋より下流へ流出した流木量のうちそれぞれ 10 %、11 %を占めていた。これより下流へ流出した流木量は 5,720 m³と計上され、下流の国道 294 号余笹橋流失、太平洋沿岸への流出に至ったものと思われる。



写真 2.1 町道高津橋被災状況(左が上流)



写真 2.2 侵食された溪畔林と捕捉された流木(下が上流)
(栃木県土木部提供)



写真 2.3 砂礫堆上に堆積した流木(高津橋上流)

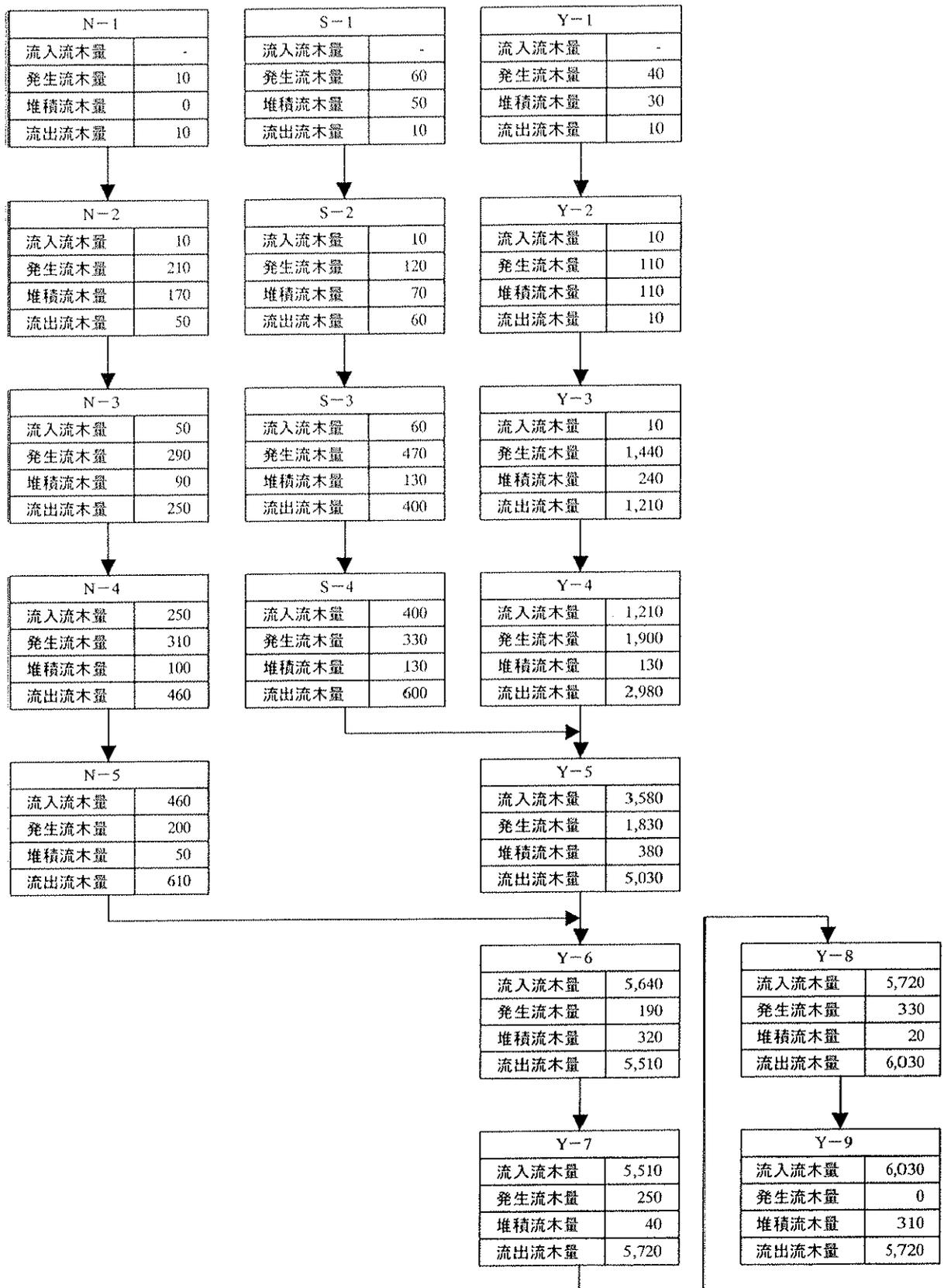


図 2.9 余笹・白戸・苦戸川流木収支

(単位: m^3)

2. 3 1993年鹿児島県垂水市の事例

2. 3. 1 災害の概略

1993年9月3日午後4時前、台風13号は最大瞬間風速50m以上の強い勢力保ったまま鹿児島県枕崎市に上陸、薩摩半島と鹿児島湾を斜めに横切り、垂水市、都城市、付近を通過して九州東岸を北上した。この間降り始めからの雨量は393mm、最大時間雨量93mmを記録し、この豪雨により垂水市の中俣川、飛岡川、迫田川、是井川流域で流木を伴った土石流が発生した。この結果各河川で土砂が氾濫し、15棟が全壊、6棟が半壊、100世帯が床上・床下浸水の被害となった。この氾濫原因は豪雨による異常出水と土砂の流出・堆積が大きく影響しているが、災害を助長した原因として流木が橋梁・橋脚に詰まり、流下断面を閉塞したことがあげられる。

2. 3. 2 流木の実態

垂水市4つの流域の内、中俣川と飛岡川流路内に不透過型砂防ダムがいくつか建設されており、それらのダムにおいて土砂・流木の捕捉に特徴が見られたので、以下それぞれの流域における実態を述べる。流域の概略を図2.10に示す。飛岡川流域を6区間、中俣川流域を13区間に区分し、各区間毎に発生量・流入量・流出量を整理した。

1) 流木収支

流木の発生源は崩壊と河道からの流出があるが、それぞれを合計し発生量を算出した。発生量を求めるにあたり、まず空中写真により樹種・樹高を判読して林層区分図を作成し、過去の空中写真と比較して、新たに崩壊が発生した地域を図上に写して崩壊地位置図を作成した。この図に基づいて現地で崩壊面積、崩壊地毎のサンプリング調査を行い、平均樹高・平均胸高直径・樹木密度を測定して、崩壊地面積に単位面積あたりの樹木乾材積を乗じて崩壊地毎の発生流木量を推定した。河道については侵食区間の延長に立木幅を乗じて侵食面積を求め、以下同様の調査を行い発生量を測定した。

堆積量については河道内に残留しているもの、氾濫したもの、砂防施設に捕捉された

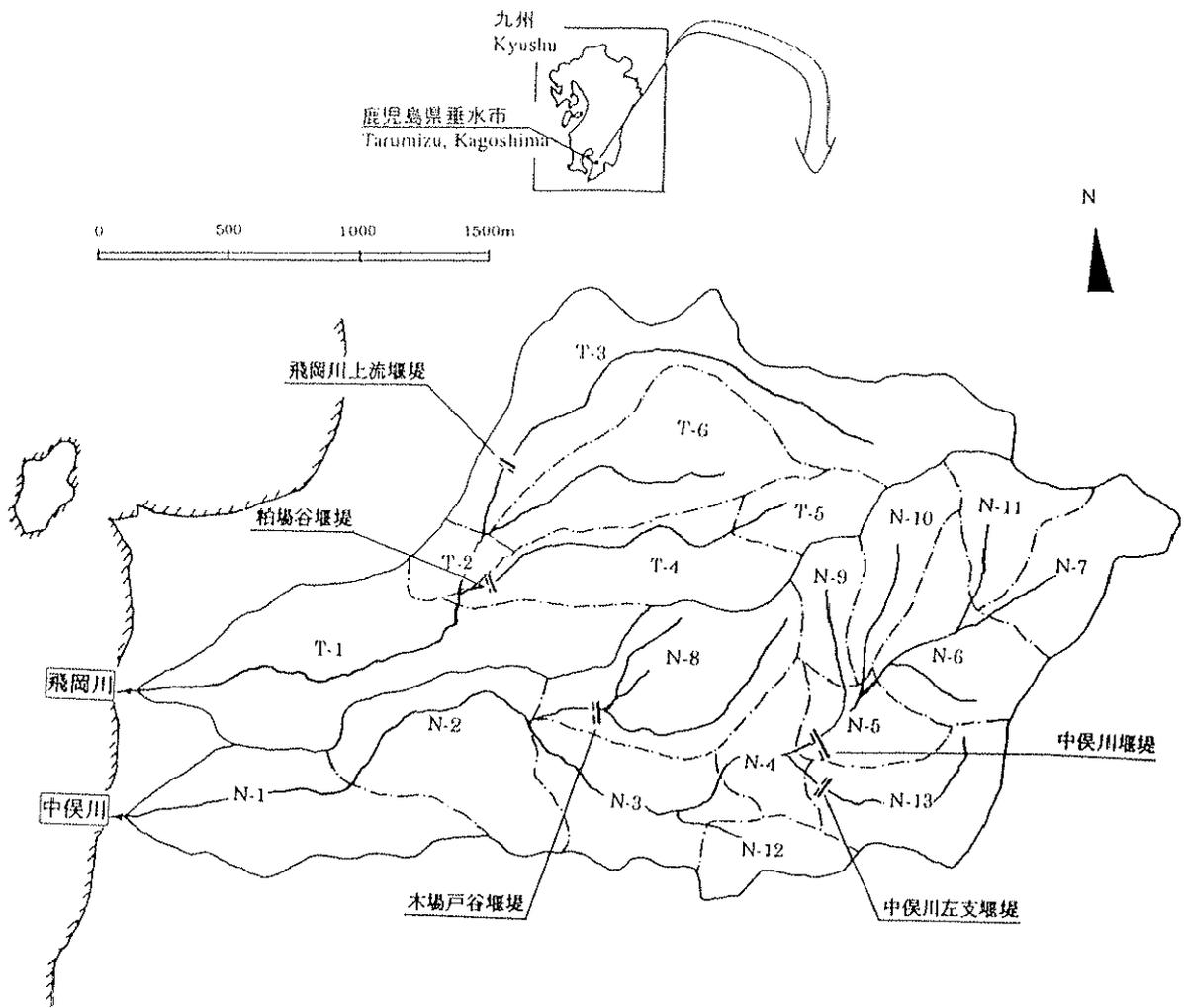


図 2.10 鹿児島県垂水市 中俣川・飛岡川流域図

ものに分けられる。それぞれ今回の災害で発生した流木を特定し、大量にある場合はその堆積面積及び空隙率を現地調査で測定もしくは推定して計算、少ない場合はその堆積本数・平均流木長・平均直径を測定して算出した。砂防施設に捕捉されたものについては後述する。

中俣川・飛岡川の流木収支図を、図 2.11 (a) (b)にそれぞれ示す。流入流木量は上流区間からの流出流木量であり、上流に複数の区間がある場合はその合計とした。流出流木量は区間内発生量と流入流木量を合計し、堆積流木量を差し引いて計算した。

図 2.10 の流域区分図と照らし合わせると、中俣川では N-11、N-7 流域において約 820 m³ の流木が流出している。N-6 流域の発生量も多く、N-9、N-10 流域での発生量を加えながら中俣川堰堤のある N-5 流域へ流入する。この堰堤の影響により約 1,060 m³ が堆積するが流入量が約 1,800 m³ と多く、差分が流下し下流域での流木氾濫と海への流出に大きな影響を及ぼしている。

飛岡川については主に T-3 と T-6 流域から発生した流木は、T-3 流域下流端にある飛岡川上流堰堤の影響により 30 m³ まで削減され、下流への流出を抑えている。左支溪である T-5、T-4 流域についても、T-4 流域下流端にある粕場谷堰堤による捕捉の影響で下流への流木流出が抑制されている。

2) 不透過型砂防ダムの存在による流木流出への影響

中俣川・飛岡川沿いの不透過型砂防ダムで捕捉された流木・土砂捕捉量が測定もしくは推定されており、これらを元に各不透過型砂防ダムによる流木・土砂捕捉率を整理し解析した。不透過型砂防ダムは、中俣川で 3 基、飛岡川で 2 基を対象とした。災害報告資料⁷⁾にある流木堆積状況の写真・図から、これらの砂防ダムにおける流木の捕捉形態は、①流木が水通しを閉塞したことによるもの(図 2.12 (a)、写真 2.4)(飛岡川上流堰堤)、②流出土砂が砂防ダムによって捕捉されたために、それに混入していた流木もあわせて捕捉されたもの(図 2.12 (b))(中俣川堰堤)、③堆砂地上で停止したもの(図 2.12 (c))(木場戸谷堰堤・他)、の 3 つに分類できる。

①のような捕捉例は過去にも報告されており⁸⁾流木長さ和水通し幅の関係が強く関わっているものと考えられる。②のように土砂と共に捕捉されるのは、流出土砂量に比して砂防ダムの貯砂容量に余裕のあるときであり、流木が発生した時点での砂防ダム堆砂状況がこの捕捉形態に強く関わるものと推測する。③については堆砂地内での土砂の首

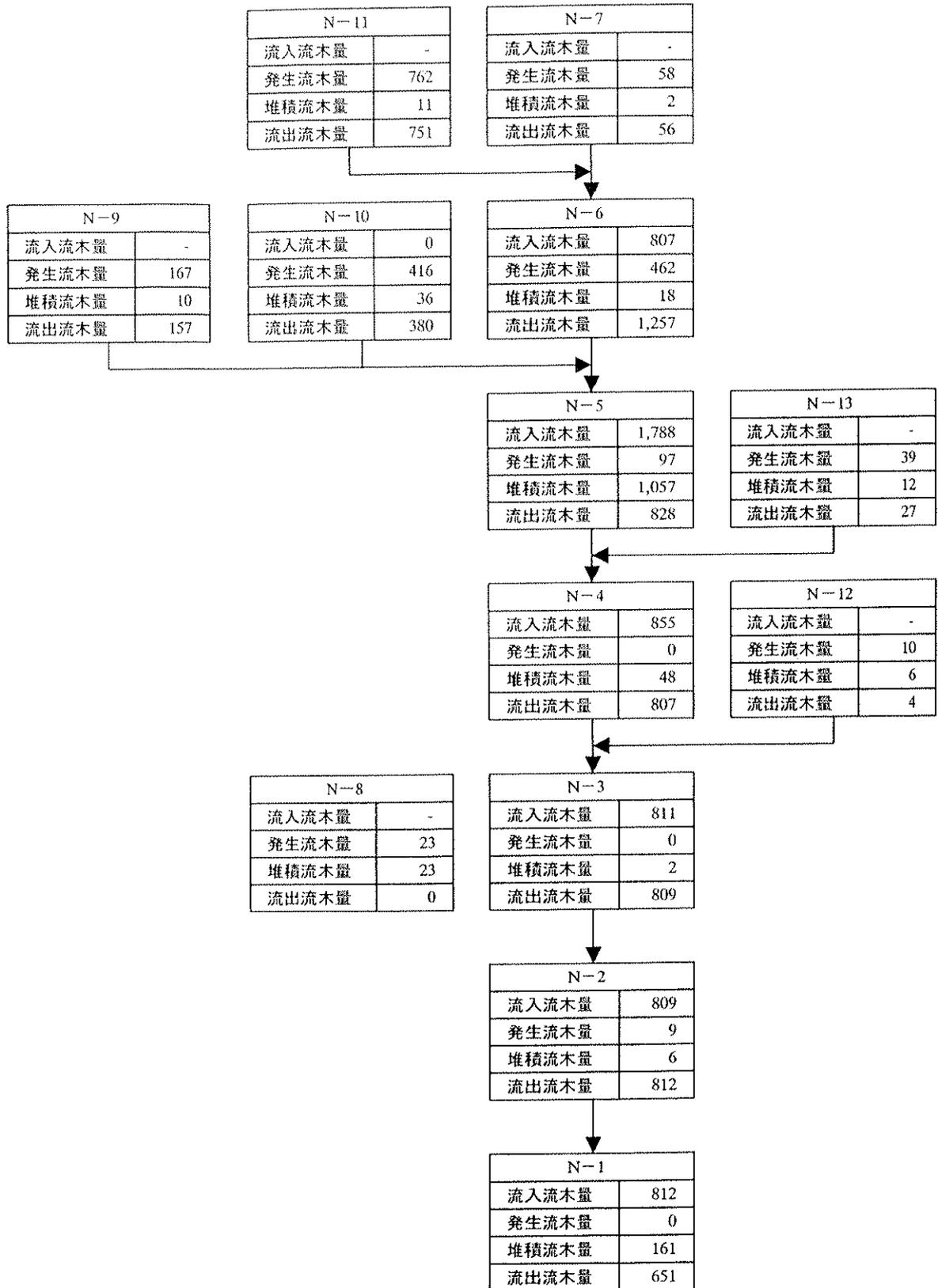


図 2.11 (a) 中俣川流木収支図

(単位: m³)

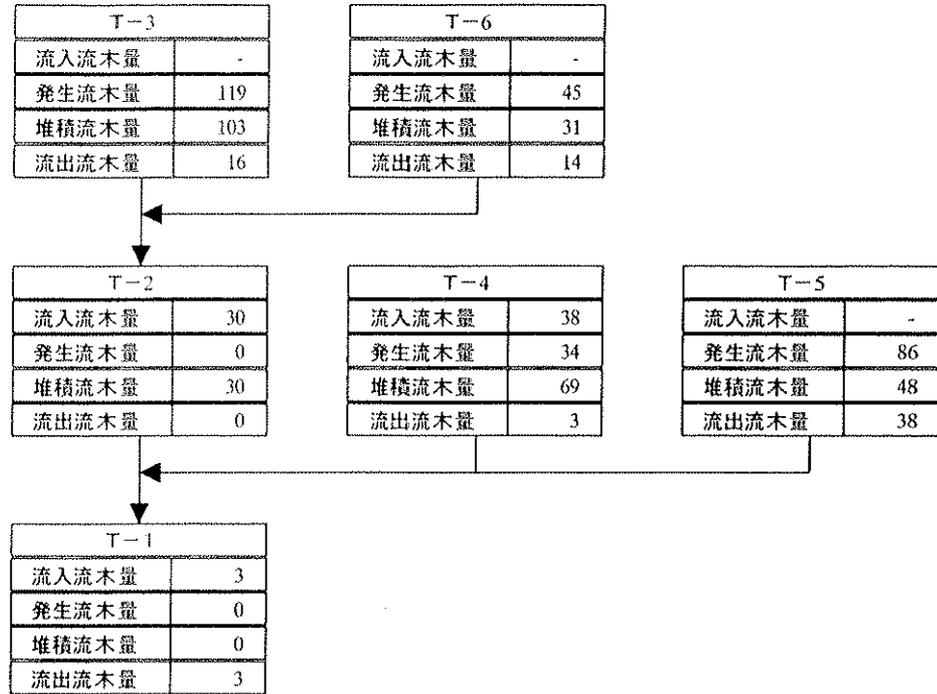
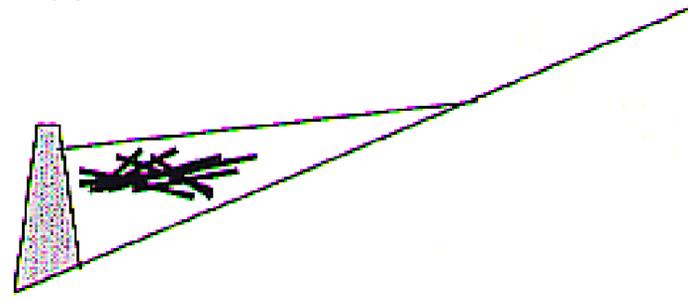


図 2.11 (b) 飛岡川流木収支図

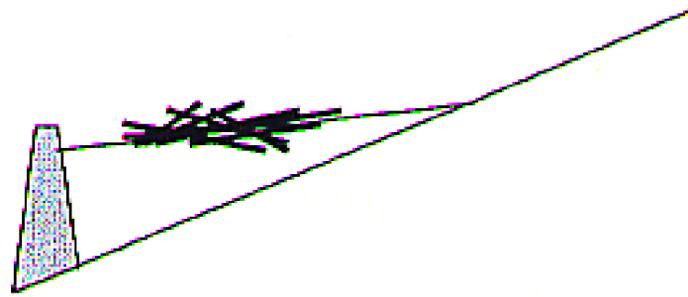
(単位: m³)



(a)水通しを閉塞して堆積



(b)土砂と共に堆砂域に捕捉



(c)堆砂地上で停止

図 2.12 不透過型砂防ダムによる流木捕捉形態



写真 2.4 飛岡川上流堰堤流木捕捉状況

(建設省九州地方建設局大隅工事事務所提供)

振り現象に起因した流路変動、水深・流速など水理的な現象の変化によって堆積土砂上に流木が取り残されたり、粗度の大きな礫にひっかかって堆積している場合である。

不透過型砂防ダムにおける土砂・流木捕捉率を算出した結果を図 2.13 に示す。ここで言う流木捕捉率は以下のように定義し、その概念図を図 2.14 に示した。なお砂防ダム直下に流木が散在していることが多いが、ここではこれらを流木捕捉率の対象に含めないこととする。

$$T_a = \frac{V_c}{V_k} \times 100 \quad - (2.1)$$

ここに T_a : 流木流出率 (%)

V_c : 砂防ダム堆砂域内流木捕捉量 (m³)

V_k : 砂防ダム堆砂域流木到達量 (m³)

表 2.2 に垂水市中俣地内流域におけるそれぞれのダムの堆砂状況、流木流下形態、砂防ダム下流への土砂流出の有無、流木の堆積位置を示す。

表 2.2 垂水市における砂防ダムの諸条件

砂防ダム名	堤高 (m)	計画貯砂量 (m ³)	完成年	堆砂状況 (発生前～後)	流下 形態	砂防ダム下流 土砂流出	堆砂地内 流木位置
中俣川堰堤	11	18,827	平成2年	未～満	土石流	有り	接
木場戸谷堰堤	10	9,655	平成2年	未～未	掃流	無し	離
中俣川左支川堰堤	10	5,697	平成2年	未～満	掃流	無し	接+離
飛岡川上流堰堤	10	-	昭和57年	満～満	掃流	有り	接
粕場谷堰堤	9	14,000	平成2年	未～未	掃流	無し	接

*堆砂状況

“未～満”： 災害発生前は未満砂で発生後満砂であった

“未～未”： 災害発生前は未満砂で発生後も未満砂であった

“満～満”： 災害発生前から満砂状態で発生後も満砂であった

*堆砂地内流木位置

接： 砂防ダムに接して堆積（明らかに水通しの閉塞や袖によって捕捉されたと見なせるもの）

離： 砂防ダムに接しないで堆砂地内に堆積

災害発生後も未満砂状態であった木場戸谷堰堤と粕場谷堰堤は、流木・土砂ともに 100 %近い捕捉率を示している。災害発生前が未満砂で発生後満砂となった中俣川堰堤

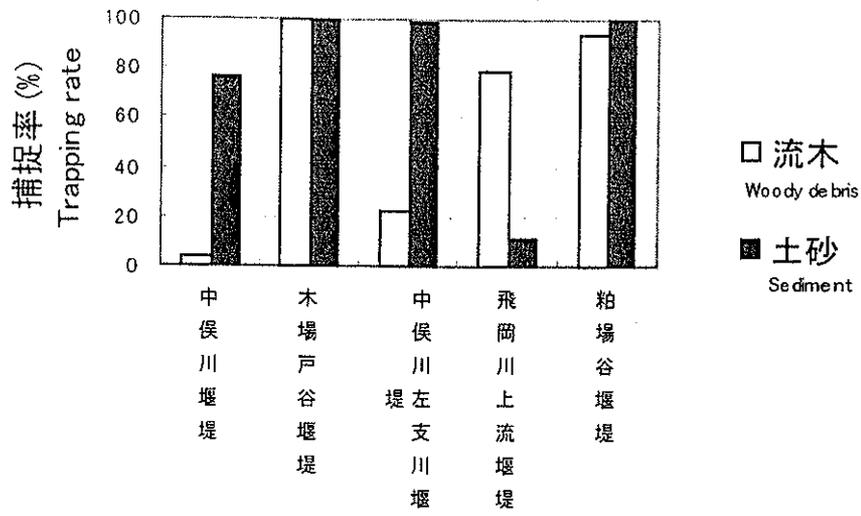


図 2.13 鹿児島県垂水市中俣地内流域での砂防ダムの流木・土砂捕捉率

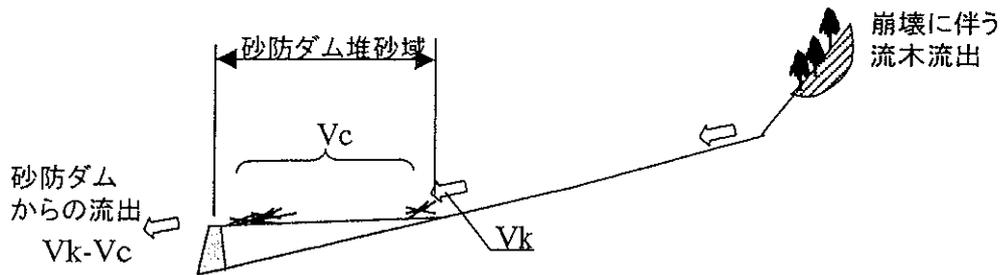


図 2.14 流木捕捉率概念図

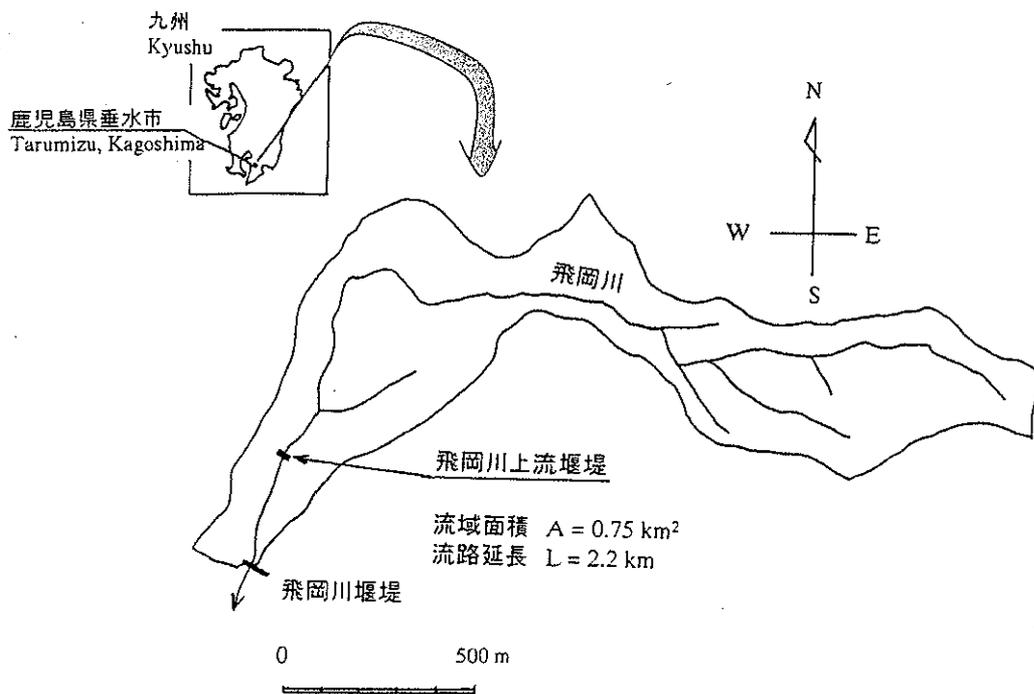


図 2.15 飛岡川上流堰堤位置図

と中俣川左支川堰堤は、土砂捕捉率は80～100%と非常に高いものの流木捕捉率は20%以下と低い。災害発生前から満砂状態であった飛岡川上流堰堤（図 2.15、写真 2.4）において、土砂捕捉率は低かったものの、流木捕捉率は80%近くを示している。土砂調節量を計画貯砂量の10%と仮定して、捕捉された流木体積の占める割合を計算すると約13%となり、現行の指針（案）で示されている“1%未満”に比較して大きな値となっている。

2. 4 結語

余笹川災害の場合、災害の原因となった流木の主な発生源は、溪岸・溪床侵食による溪畔林の流出によるもの、及びスギ植林地が侵食され流出したものが多かった。長年洪水の発生が無く河川との境界が曖昧になっており、堤外に田畑や家が築造されていたことが被害を大きくした一因と考えられる。

また堆積した場所は構造物、溪畔林及び河床に形成された砂礫堆上であった。これらの場所に堆積した原因を究明し、今後再び流出することのない対策を講じる必要がある。構造物に堆積した流木はその維持管理・復旧の必要性から早めに撤去される場合が多い。しかし溪畔林・河床に堆積した流木の範囲は広く、人目につかない場所で放置されている場合も多い。一旦立木が流木になってしまうとわずかな増水でも流出する可能性が高くなり、再び流木災害を招く危険性がある。

流失した橋梁の上流側に流木の集積が目立ち、調査範囲内でも人道橋を除き2橋（町道高津橋、国道4号余笹橋）を流失した。流木による橋梁通水断面の閉塞確率は、流下中の流木が水面で占めている面積の全水面積に対する比が大きいほど、流木長と橋脚間隔の比が大きいほど、桁下余裕高が小さいほど高くなることが指摘されている^{9)・11)}。調査範囲内にあった橋の橋脚間隔は全て10m前後であったが、被災を免れた大谷開拓橋の桁下余裕高は5m近くあるのに対し、高津橋・国道4号余笹橋のそれは3m以下であった。流木収支によると、流出を免れた大谷開拓橋に到達した流木量は1,210 m³と計算されたが、これだけの流木が流下断面を閉塞することなく通過した理由として、桁下余裕高が十分にあったこと、流木の発生時間が異なり単独の状態で流下したことが考えられる。

長年洪水が発生しない河川は植生が堤外地に進入し、高木が混じるとそこはあたかも堤

内地のような様相を見せる。このような河川の境界があやふやになっている場所の土地利用には十分注意を払う必要がある。過去の洪水記録はもちろんのこと、周囲の地形・地質・植生を十分に観察して、また土地利用の重要度も考慮して決定する必要がある。

鹿児島県垂水市の場合、流木発生源の下流には数基の不透過型砂防ダムが設置されており、流木を捕捉した砂防ダム、流木を捕捉できず下流で大きな災害を起こしてしまった砂防ダムの明暗が分かれた。本来不透過型砂防ダムは土砂の捕捉を目的として建設されたものであり、流木に対してその捕捉効果は期待されていない。ましてや満砂状態の砂防ダムは、堆砂勾配の変動による土砂調節効果は認められるものの、流木にはほとんど無効なものとして取り扱われている。しかし、現実には大量の流木を捕捉したダムもあり、その要因を究明し流木対策に生かすことが必要である。

引用文献

- 1) 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, pp. 23-29
- 2) 建設省砂防課（1990）： 流木対策指針（案）、流木対策検討会、15 pp.
- 3) 水山高久、石川芳治、福澤誠（1991）： 流木の運動・堆積機構と対策工に関する研究、土木研究所報告 第 183 号 p.91, pp. 128-134
- 4) 阿部宗平、扇行徳（1995）： 流木対策における流木捕捉工の効果、土木施工 36 巻 7 号、pp. 41-47
- 5) 栃木県土木部（1998）： 平成 10 年 8 月末豪雨による災害（栃木県）速報版、17 pp.
- 6) 牛山素行（1998）： 1998 年 8 月 26 日～31 日に栃木・福島県で発生した豪雨災害の特徴、自然災害科学 Vol.17, No.3, pp. 237-244
- 7) 建設省九州地方建設局大隅工事事務所（1994）： 国道 220 号流出土砂・流木量災害調査業務報告書、pp. 2.18-2.138
- 8) 小山内信智、平松晋也、石川芳治（1998）： 流木対策施設の効果と維持管理体制の現状、砂防学会誌 Vol.50, No.6, pp. 48～51
- 9) 米元卓介（1961）： 洪水時に流木が橋梁及び堤防に及ぼす影響とその対策に関する研

究、早稲田大学理工学研究所報告 第 17 号、pp. 1-14

10) 足立昭平、大同淳之 (1957): 流木に関する実験的研究、京都大学防災研究所年報 第 1 号、pp. 41-49

11) 坂野章、望月達也、藤田光一 (1998): 橋梁への流木集積と水位せきあげ、土木技術資料 40-10, pp. 42-47