

【本 編】

1. 調査概要

1.1 調査の目的

流木による災害については、これまでも種々の対策がとられてきたが、近年、局地的な豪雨が増加傾向にあり、平成17年度においても台風等による豪雨を起因とする流木災害が各地で発生した。

これらの災害は、豪雨の増加に伴う上流域における渓岸侵食等の増加が原因となっているものと見込まれており、下流域への重要な水源となるダム貯水池においては、流木の除去費用の増大やダム施設への悪影響等が問題となっている。

また、今後安定的に水資源を供給し続けるためにも、ダム貯水池へ流入する流木の対策について早急に検討する必要がある。

本調査では、近年の降雨パターン等自然条件の変化を踏まえ、上流の水源地域の森林の状況把握や流木の発生・挙動メカニズムを分析・検討し、ダム貯水池への流木流入災害についての課題を整理するとともに、林野庁及び国土交通省における連携方策をとりまとめ、流木災害の効率的かつ効果的な防止をめざすものである。

1.2 調査のフロー

調査のフローは、図 1 - 1に示すとおりであり、次に示す調査で構成される。

< 調査構成 >

- ・ダム貯水池への流木流入の定量的把握等のための基礎調査の実施
- ・流木流入災害についての現状把握及び課題等の整理
- ・流木の発生・挙動メカニズムの分析・検討及び貯水池での対応検討
- ・流木の貯水池への影響等を踏まえての連携施策の検討
- ・流木流入災害の防止対策に関する成果のとりまとめ

1.3 調査の実施方針

本調査の実施にあたっては、次に示す実施方針を設定した。

ダム管理に影響を与える流木の発生・挙動等に係る調査・研究は緒に就いたばかりであることから、既往知見や調査データ等を集約し、体系的な整理を行う。

限られた期間での調査であることから、調査対象として適したダム貯水池をモデルとして抽出し、その流域及び貯水池において流木の発生・挙動等に係る現地調査を実施し、実態の把握に努める。

上記 及び から得られた調査結果を総合し、流木流出等に係る現状と課題を明らかにするとともに、流木の発生・挙動メカニズムの分析・検討を行うことにより、効率的かつ効果的な連携方策を検討するために必要な情報を得る。

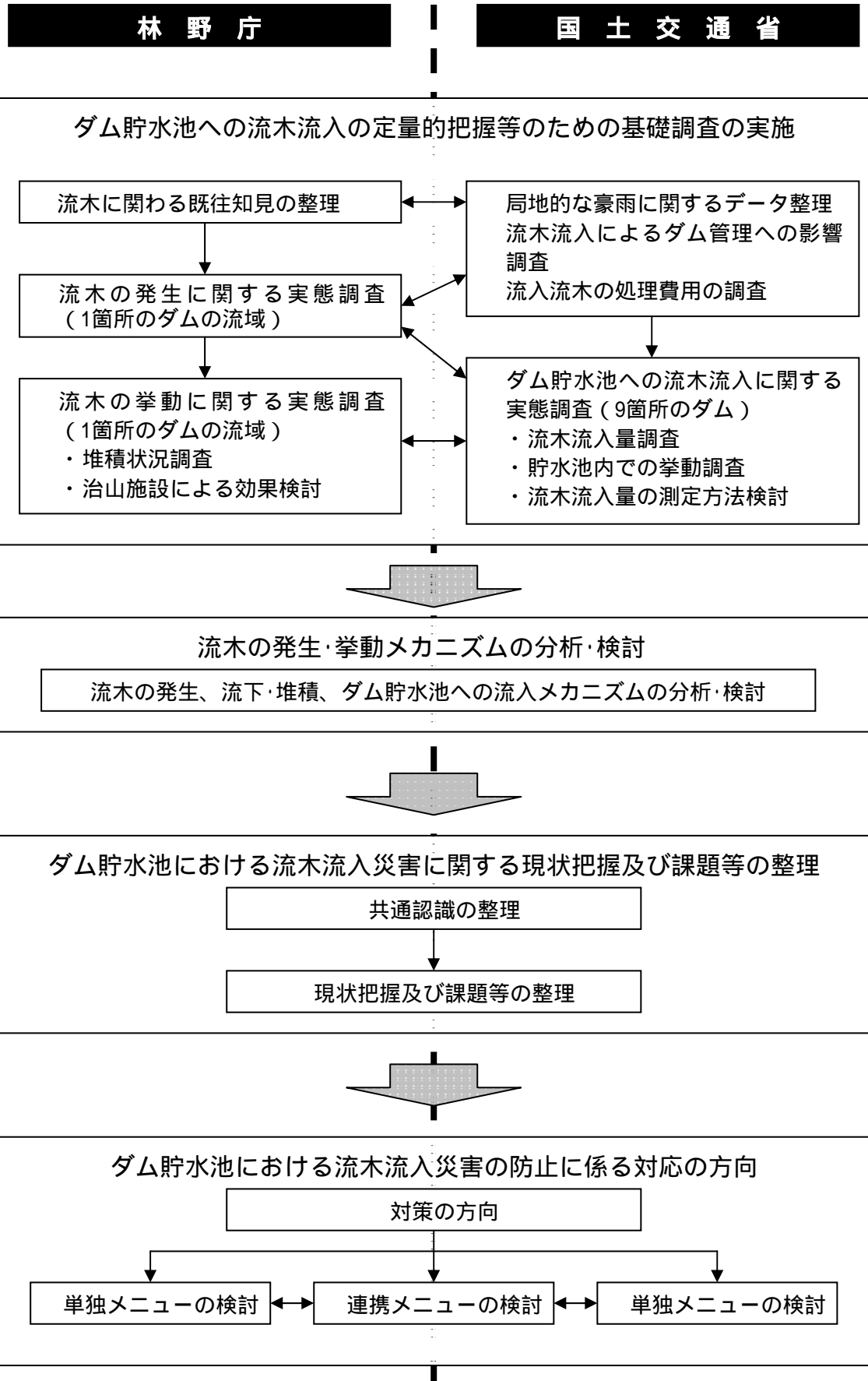


図 1-1 ダム貯水池における流木流入災害の防止対策検討調査 調査フロー

1.4 調査の内容

1.4.1 ダム貯水池への流木流入の定量的把握等のための基礎調査の実施

流木の発生・流出等の状況を定量的に把握するため、流木発生等に関わる既往知見を整理するとともに、調査対象ダム貯水池を9箇所選定し、これらダム貯水池における流木流入量（樹種構成等含む）に関するデータの収集・分析を行った。また、当該ダム貯水池流域における局地的な豪雨等のデータ、流木流入によるダム管理への影響調査、流木のダム貯水池での挙動調査、処理費用の調査等を実施した。

さらに、上記の調査対象ダム貯水池のうち1箇所については、ダム貯水池の上流域等における流木の発生箇所・発生量及び流木の挙動（流下状況）等について実態調査を実施した。

< 調査対象ダム貯水池の選定要件 >

- ・過去の流木発生量が多いダム
- ・現時点において一定量流木が発生しているダム、または流木を一定量仮置きしているダム

< 調査対象ダム貯水池（9箇所） >

- ・滝里ダム（北海道芦別市）
- ・四十四田ダム（岩手県盛岡市）
- ・二瀬ダム（埼玉県秩父市）
- ・宇奈月ダム（富山県黒部市）
- ・美和ダム（長野県伊那市）
- ・真名川ダム（福井県大野市）
- ・弥栄ダム（広島県大竹市・山口県岩国市）
- ・野村ダム（愛媛県西予市）
- ・鶴田ダム（鹿児島県薩摩郡さつま町）

< 上流の森林域等で調査を実施するダム貯水池の選定要件 >

- ・ダム上流域において、山腹崩壊や溪岸侵食等が比較的多く発生しているダム
- ・冬季の積雪がない、又は少なく、冬季の現地調査に支障のないダム

以上から、鶴田ダム貯水池（1箇所）を選定した

1.4.2 流木の発生・挙動メカニズムの分析・検討

上流の森林域等における流木の発生状況、溪流・河床、溪畔林・河畔林、治山構造物等における堆積状況、ダム貯水池への流入状況等に基づき、流木の発生・挙動メカニズムを分析した。

1.4.3 ダム貯水池における流木流入災害に関する現状把握及び課題等の整理

以上の調査結果を踏まえ、ダム貯水池における流木流入災害に係る共通認識を整理するとと

もに、流木流入災害に係る現状把握と課題等を整理した。

1.4.4 ダム貯水池における流木流入災害の防止に係る対応の方向

流木の発生・挙動メカニズムの分析結果、流木流入災害に係る現状把握と課題等の整理結果を踏まえ、林野庁と国土交通省が取り組む個別施策及び連携施策の提案を行った。

1.5 委員会

本調査の実施にあたっては、流木流出等に関わる学識経験者や行政関係者等から構成される「ダム貯水池における流木流入災害の防止対策検討委員会」を設置し（表 1-1）、委員会での意見・検討に基づき調査を実施した。

委員会は3回開催し、その開催状況は表 1-2に示すとおりである。

表 1-1 ダム貯水池における流木流入災害の防止対策検討委員会委員

(50音順)

委員氏名	所属・役職	備考
石川 芳治	東京農工大学大学院教授	
太田 猛彦	東京農業大学教授	委員長
落合 博貴	独立行政法人森林総合研究所治山研究室長	
小松 利光	九州大学大学院教授	
森 雅志	富山市長	

表 1-2 委員会の開催状況

回	開催日	主な議事内容
第1回	平成18年12月22日	調査の概要確認 調査の進め方 既往知見の整理 現地調査計画・速報 等
第2回	平成19年1月26日	調査結果の報告 流木発生・挙動メカニズムの分析 ダム貯水池での対応検討 とりまとめ骨子案 等
第3回	平成19年2月27日	調査成果のとりまとめ 等

2. ダム貯水池への流木流入の定量的把握等のための調査

2.1 既往知見の整理

2.1.1 既往知見の概要

流木発生メカニズム、流木災害の状況、流木対策に関する知見および流木の発生に関する既往調査の事例を把握するために、一般書籍、科学文献等の収集整理を行った。

資料収集は、科学論文検索サイトを使用し、「流木」のキーワードで検索を行い、タイトルや要旨から有用な資料を抽出することで行った。収集した資料から、降雨流出イベントに伴う流木の発生源や樹種、堆積状況などの情報を抽出し、特に流木の発生やダム貯水池への流入等に関する知見を中心に整理を行った。

既往知見の概要を以下に示すとともに、流木流入災害防止対策を検討するにあたっての既往知見に係る問題点等を整理した。

流木発生メカニズムについての既往知見

【流木の発生原因】

流木の発生原因は、大きく「立木の流出」「過去に発生した倒木等の流出」「伐木、原木の流出」「用材の流出」の4種類に分類される。

立木の流出原因としては山腹崩壊や溪岸浸食による事例が報告されており、供給源は流域の特性や降雨イベントの状況によって異なることが考えられる。なお、流木の発生原因の一つである山腹崩壊と間伐の実施との関連については、間伐により健全な森林を育成し、その健全な森林が持つ崩壊防止力によって崩壊を未然に防止できると考えることができるものの、間伐の実施そのものによる崩壊防止効果は限定的であることが指摘されている。

【流木の流下状況】

流下の際の折損により、流下するにしたがって流木が短くなる傾向にある。また、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が、洪水時には流木が水面付近を浮いた形で流下する。

【流木の堆積・捕捉状況】

流木は流出の過程で、様々な要因により捕捉され、堆積する。構造物による捕捉・堆積、河畔林・河畔林による捕捉・堆積、水位の低下による河床との摩擦による堆積、ダム貯水池による捕捉などである。構造物のなかでも透過型のスリットダムによる流木の捕捉効果は大きく、不透過型砂防ダムの約1%に対して、透過型砂防ダムは約20%の流木捕捉効果を有する。なお、森林は流木の発生源となるが、一方では土石流や土石流に含まれる流木を堆積させる効果が確認されている。

流木災害の状況についての既往知見

【流木災害の区分】

流木による被害は、橋脚などにひっかかった流木により河川がダムアップされ、洪水が河道から溢れて周辺の人家等に被害を与える他、人工構造物の機能低下や破壊の原因となること等が挙げられる。

【全国のダム貯水池における流木発生状況】

アンケート調査によると単位流域面積あたり年間流木流入量は、 $0.1 \sim 2\text{m}^3 / \text{km}^2 / \text{年}$ のダムが比較的多い。流木処理はダム管理の大きな負担となっている。また、電力ダムでは網場の設置率は30%である。

【海への流入状況】

海域では主に流木により海岸保全施設の機能低下、船舶の係留不能、船舶のスクリュー破損、漁網への巻き込みといった被害がある。なお、廃棄物処理法改正前には野焼きが可能であり、また薪等への利用といった生活の一部として住民や事業者を持ち去られていたことから、かつては長期間、大量の漂着物が沿岸に残ることは少なかったと推察される。

流木対策についての既往知見

【ダムにおける対策】

ダム管理に影響を及ぼさないために、通常ダム貯水池に流入した流木はダムサイト直上に設置された網場で捕捉され、陸地に引き上げられて処理される。

【治山事業における対策】

流木の対策施設としては、治山ダム工、護岸工、スリットダム、土留工等がある。

【その他の対策】

河道内における流木捕捉施設や、砂防事業による流木対策等がある。

流木対策についての既往調査事例

- ・福井県嶺北地方 2004年7月18日 福井豪雨
- ・愛媛県東予地方東部 2004年台風10～23号
- ・北海道日高地方 沙流川流域・厚別川流域 2003年8月9～10日 台風10号
- ・岐阜県北部 1999年9月15日 台風16号
- ・静岡県中部 大井川支流榛原川、安部川支流藁科川
- ・栃木県北部 余笹川 1998年8月26日～ 停滞前線による豪雨
- ・熊本県一の宮町 古恵川 1990年7月1～2日 集中豪雨

流木流入災害防止対策を検討するにあたっての既往知見に係る問題点等

- ・ 流木の発生からダム貯水池までの流下・堆積状況の実態、流域内での収支等について総合的に調査・解析した事例は少ない（北海道南部厚別川流域周辺の1事例）。
- ・ 流木の原因や発生形態が、流域の特性、出水状況等に左右される可能性が大きいことは示唆されているが、特に流域特性との具体的な因果関係について検討した事例は少ない。
- ・ 流木の発生源の一つである山腹崩壊と間伐の実施との関連については、間伐による健全な森林の育成により、その健全な森林が有する崩壊防止力によって崩壊が防止できると考えられるものの、間伐の実施そのものによる崩壊防止効果は限定的なものとの指摘がある。

2.1.2 流木発生メカニズム

(1) 流木の発生原因

1) 流木の発生原因の分類

石川(1994)^{文献4}の分類による流木の起源、それぞれの発生原因、及び主な発生場所を表2.1-1に示す。

流木の起源は、「立木の流出」「過去に発生した倒木等の流出」「伐木、原木の流出」「用材の流出」の大きく4種類に分類される。立木の流出は、山腹崩壊や土石流による立木の滑落や、溪岸・溪床侵食による立木の流出などがある。過去に発生した倒木は、過去に病虫害や台風、雪崩などによる倒木であり、過去に河床に堆積した流木なども含む。伐木、原木は、人為的に集積された伐木や原木を指し、用材は、家屋、橋、電柱などの人工物が破壊されることで発生する流木である。

表 2.1 - 1 流木の発生原因と形態

流木の起源	流木の発生原因と形態	主な発生場所		
		上流域	中流域	下流域
立木の流出	斜面崩壊の発生に伴う立木の滑落			
	土石流発生に伴う立木の滑落			
	土石流の流下に伴う溪岸・溪床侵食による立木の流出			
	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	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			
	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			
	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			
	火山の噴火に伴う爆風による倒木の発生とその後の土石流、洪水による下流への流出			
伐木、原木の流出	放置された伐木や間伐材の斜面崩壊、土石流、洪水による流出			
	集積された木材の洪水による流出			
	洪水による椎茸原木の流出			
用材の流出	土石流、洪水による家屋の損壊とそれに伴う破損材の流出			
	土石流、洪水による木橋の流出			
	土石流、洪水による電柱の流出			

参考：石川(1994)「溪流における流木の発生」水利科学 No.216

2) 立木の流出

流木の主な発生形態は、斜面崩壊、土石流に伴う立木の滑落によるものと、土石流の流下に伴う溪岸崩壊及び溪岸浸食によるものと考えられる(水山,1991)^{文献30}。そのため、立木の流出に関して、「斜面崩壊による流出」と「河畔林からの流出」など、発生場所別の流

木発生量について、検討を行った事例も多い。

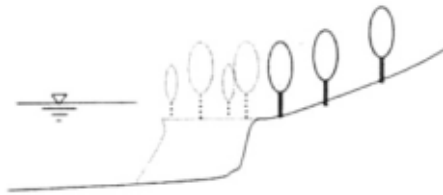
南ほか(2000)^{文献³²}によると、1998年8月の栃木県余笹川災害における流木の発生形態は以下の3種に分類できる(図 2.1 - 1)。

- a. 山腹崩壊型：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
- b. 溪岸浸食型：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浸食を受け、その上に生育していた立木が流出したもの
- c. 溪床浸食型：高水敷や段丘面が冠水によって浸食を受け、その上に生育していた立木が流出したもの

a. 山腹崩壊型



b. 溪岸浸食型



c. 溪床浸食型

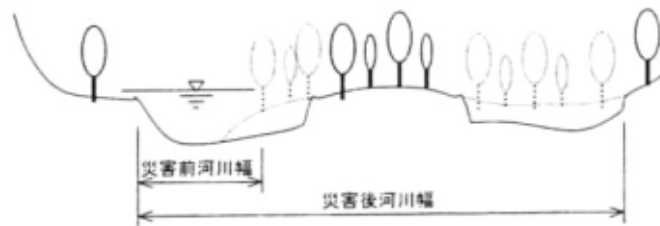


図 2.1 - 1 立木の流出による流木の発生状況(余笹川災害の事例)

参考：南ほか(2000)「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

また、今井・鈴木(2006)^{文献⁸}によると、2004年7月の福井豪雨における流木の発生形態は以下の4種類に分けられる(図 2.1 - 2)。福井豪雨では洪水による河床・河岸の浸食による立木の流出箇所が最も多く、山腹崩壊に伴って立木が溪流や河川まで流出した被害箇所は少なかった。

- a. 溪流の縦浸食に伴う溪岸崩壊：縦浸食による溪床の低下に伴う溪岸崩壊により立木が流出したもの
- b. 溪岸の横浸食に伴う溪岸崩壊：溪岸部が浸食され、横浸食に伴う溪岸崩壊により立木が流出したもの
- c. 河岸部の横浸食など：河川の河岸部及び河床が洪水により浸食され、河岸崩壊などに伴い立木が流出したもの
- d. 山腹崩壊：河川または溪流の上部斜面（壁斜面）が崩壊、立木が流出部まで滑落し、流出したもの

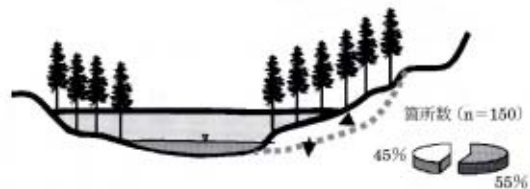
・ 溪流の縦浸食に伴う溪岸浸食



・ 溪岸の横浸食に伴う溪岸浸食



・ 河岸部の横浸食など



・ 山腹崩壊



図 2.1 - 2 立木の流出による流木の発生状況（福井豪雨の事例）

参考：今井・鈴木（2006）「福井豪雨における森林災害 下 流木発生原因等と対策の方向について」山林 2006.11.

3) 過去に発生した倒木等の流出

台風による風倒木を放置すると、二次災害として、森林の衰退、二次風倒木、地盤の劣化による斜面崩壊、洪水の早期流出化・増大化、風倒木の流木化などの原因となる。山間部の急斜面や溪流沿いに放置された風倒木や二次災害で新たに発生した被害木は、その後の洪水とともに容易に河川に流入して流木化し、溪岸浸食や橋梁流出、堤防破壊等の河川災害を誘発する(岩元ほか,1998)文献¹⁰。また、地域によっては過去に流出して溪床上に堆積していた流木や、溪床堆積物中に埋没していた流木の再移動が顕著な場合もある(水山,1991)文献³⁰。

台風等による風倒木は洪水や土石流により河川に流出するため、河川までの距離によってその流出量に違いが現れる。岩元ほか(1994)文献⁹は、台風により風倒木が多発した筑後川と山国川の支流で溪岸崩壊と流木発生との関係を調査した。これによると、筑後川流域のモデル地点では崩壊の発生と同時に流木化する比率が倒木本数の70~90%と高く、山国川流域(岩屋川)では10~40%と低い値であった(図 2.1-3)。これは山腹崩壊の発生地点から河川までの距離が、筑後川では15m以下、山国川では30m以上と差があることによる。

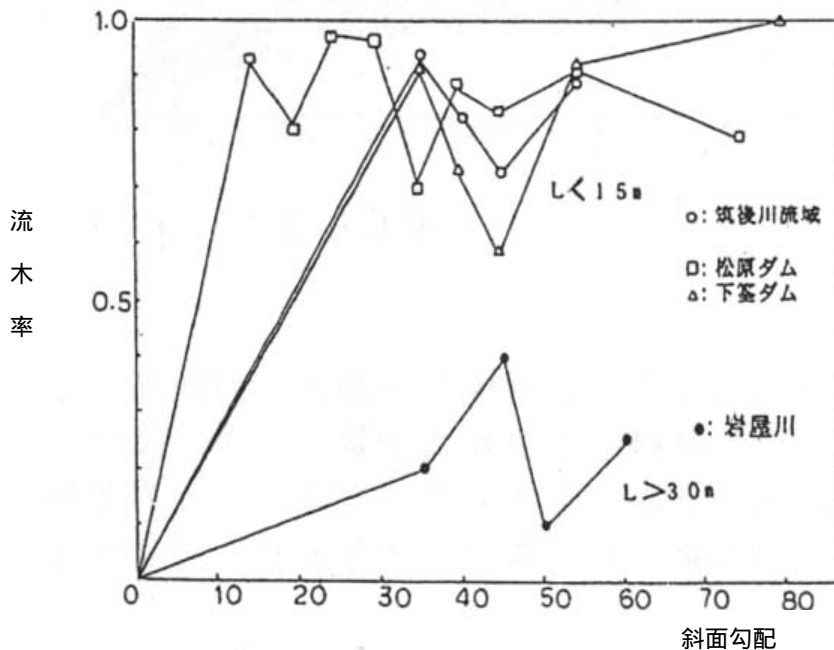


図 2.1-3 流木率と斜面勾配の関係

参考: 岩元ほか(1998)「台風による風倒木の発生機構と2次災害に関する研究」西日本工業大学紀要 理工学編 第28巻

(2) 流木の発生状況

1) 原因の分類別の発生状況

北海道立林業試験場（2004）^{文献 28}は、2003年の台風10号による厚別川流域における流木発生量を推算し、流木の主な供給源は山腹崩壊であり、河畔林の流出は副次的な供給源で、河畔林にはむしろ流木を捕捉する機能があるとした（図 2.1 - 4）。

同じ2003年の台風10号による災害でも、沙流川の支川パラダイ川では、流木のほとんどは河床内に存在していたものの再移動か、小渓流内の堆積物中の倒木であるとされた（独立行政法人土木研究所寒地土木研究所, 2004）^{文献 27}。

南ほか（2000）^{文献 32}は、1998年8月の栃木県余笹川災害では、溪岸・溪床浸食型による流木発生量が山腹崩壊型の約13倍と計算し、溪岸・溪床が侵食されることで発生する流木が大半を占めることを示した。

川村（2003）^{文献 15}によると、1999年台風16号による岐阜県北部の災害では、流木の量のうち、溪岸侵食を原因とする流出が70%を占めており、この時の災害では流木化するかどうかは、大きさや樹種よりも生育していた場所による影響が大きいとした。

今井・鈴木（2006）^{文献 8}によると、2004年7月の福井豪雨では洪水による河床・河岸の浸食による立木の流出箇所が最も多く、山腹崩壊に伴って立木が溪流や河川まで流出した被害箇所は少ないとされた。

岡本（2005）^{文献 12}が2004年に愛媛県で起きた土石流災害のなかから16溪流を選んで調査した結果によると、山腹崩壊起源で発生した流木より土石流の流下に伴う溪岸侵食で発生した流木が多く、平均で1.6倍であった。

流木の供給源として溪岸浸食による事例が多く報告されているが、供給源は流域の特性や降雨イベントの状況によって異なることが考えられる。

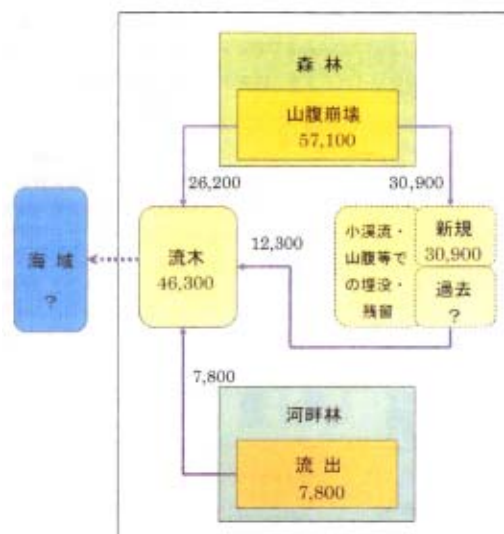


図 2.1 - 4 平成15年台風10号による厚別川流域における流木発生量

参考：北海道立林業試験場（2004）「平成15年台風10号に伴う集中豪雨による流木発生等実態調査に係る報告書」

2) 樹種別の流木の発生状況

過去の主な流木災害における、流域内での流木の発生量と、溪流ごとの流域面積との関係を図 2.1 - 5に示す（建設省砂防部砂防課，2000）^{文献 17}。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が、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傾向がある。

北海道立林業試験場（2004）^{文献 28}による北海道南部厚別川流域での調査では、針葉樹が1～2割、広葉樹が8～9割を占めており、施業が行われている人工林（針葉樹）由来の流木が少ないことを示した。

石川ほか（1992）^{文献 6}によると、平成2年7月の集中豪雨による熊本県一の宮町の事例では、山腹崩壊による針葉樹の流木は、幹材積にして91%を占め、河畔林からの流木でも針葉樹の割合は53%であった。

今井・鈴木（2006）^{文献 8}による調査では、福井豪雨で流出した流木の樹種別堆積量の割合はスギ89%、オニグルミ5%、ケヤキ2%、ハンノキ類1%であり、河畔林、溪畔林に分布している樹種とほぼ一致していた。

岡本（2005）^{文献 12}が2004年に愛媛県で起きた土石流災害のなかから16溪流を選んで調査した結果によると、流木の発生量には地質や樹種による違いは認められなかった。

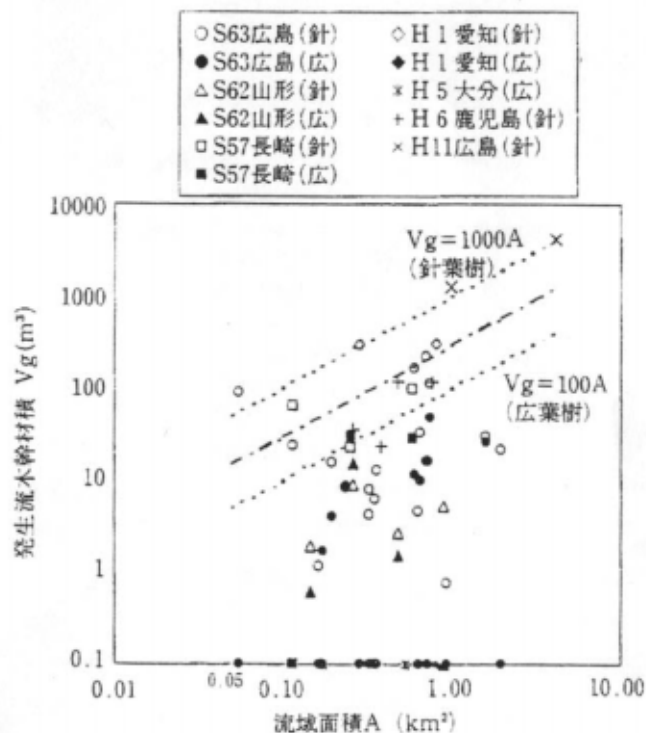


図 2.1 - 5 過去の主な流木災害における発生流木量と流域面積の関係

参考：建設省砂防部砂防課（2000）「流木対策指針（案）計画編、設計編」

3) 流木と土砂の関係

過去の主な流木災害における溪流ごとの生産土砂量と発生流木量の関係を図 2.1 - 6に示す(建設省砂防部砂防課,2000)文献¹⁷。生産土砂量と発生流木量には正の相関関係があり、発生流木幹材積の上限値は、斜面崩壊や土石流による生産土砂量の約2%であった。

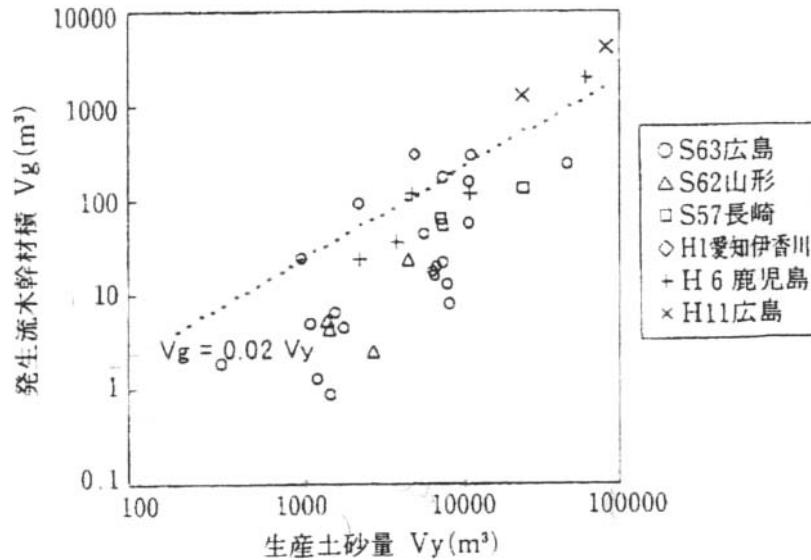


図 2.1 - 6 過去の主な流木災害における生産土砂量と発生流木幹材積

参考：建設省砂防部砂防課（2000）「流木対策指針（案）計画編、設計編」

愛知県北設楽郡豊根村の伊香川（流域面積0.9km²）において、1989年9月に発生した土石流の、土砂と流木の収支を溪床断面と併せて図 2.1 - 7に示す（水山, 1991）文献³⁰。土砂は源頭部の崩壊地でその大部分が発生しているが、流木は土石流の流下の過程で多く発生していた。一方堆積状況を見ると、流下した土砂の大部分は途中の砂防ダムで捕捉されているが、流木は砂防ダムによる捕捉量が少なかった。そのため伊香川下流端では土砂の流出率は小さいが流木の流出率が大きい結果となった。

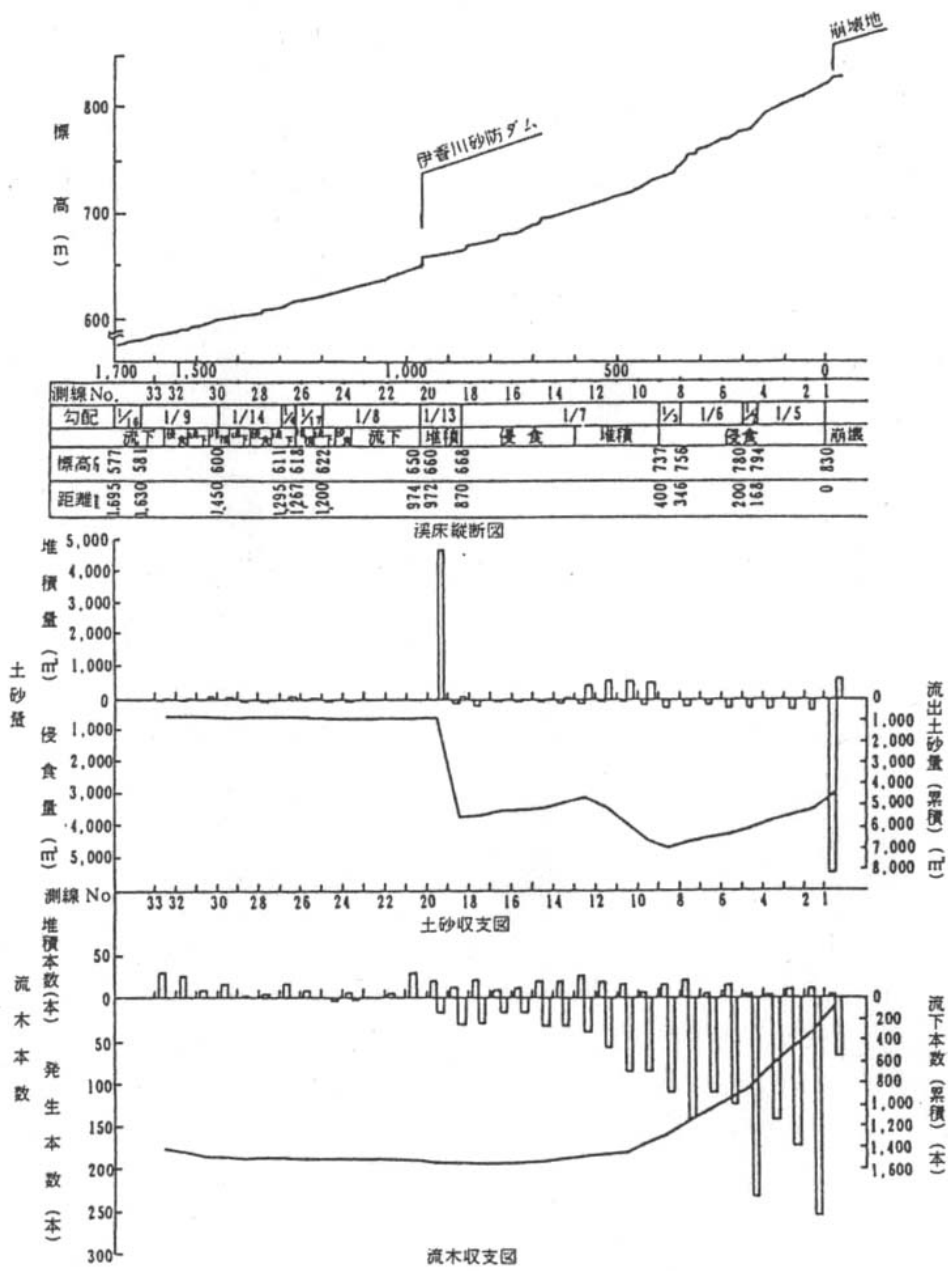


図 2.1 - 7 伊香川（愛知県豊根村）の1989年の土石流における土砂・流木収支図
 参考：水山（1991）「流木の発生形態と対策」102回日本林学会論文集

4) 森林整備と崩壊の発生状況

山腹崩壊は流木の発生源の一つであるが、森林は樹木の根系の働きによって斜面の表層部に形成される土壌層を崩壊しないように安定させる機能(崩壊防止機能)を有している。これは崩壊すべり面に生育する根系が、土のせん断抵抗力を補強することによって発揮されると考えられている(荒木、阿部,2005)^{文献 3}。なお、山腹崩壊には木の根が存在する範囲の表層土層が崩壊する「表層崩壊」と、もっと厚い堆積層や深い岩盤の中にすべり面を持つ「深層崩壊」があり、森林は表層崩壊を防止できるが、深層崩壊に対してはほとんど無力である(太田,2004)^{文献 11}。過去の豪雨の際に発生した山崩れのは大半は表層崩壊であり、昭和後期から平成にかけての森林の生長によって表層崩壊に伴う土砂災害は減少したが、表層崩壊が減少した分、深層崩壊が目立つようになった(太田,2004)^{文献 11}。

荒木、阿部(2005)^{文献 3}によると、森林の地表面侵食に関する研究は古くから行われているが、森林施業や保育管理との関連で調査研究された例は少ない。川村(2003)^{文献 15}が1999年台風16号による岐阜県飛騨地方の流木災害の状況を調査したところ、幼齢人工林で多くの崩壊が発生しており、全体の約1/3の面積である15年生未満の人工林における崩壊発生割合が、崩壊全体の約9割を占めていることを示した。また、鈴木・今井(2006)^{文献 22}が2004年に発生した福井豪雨による山腹崩壊の状況を調査した結果、スギの造林を積極的に実施してきた美山町においては、スギの林齢が若齢な林分ほど崩壊が発生しやすく、表層崩壊については齢級が高くなるに従い崩壊規模が小さくなった(図 2.1-8、図 2.1-9)。

荒木、阿部(2005)^{文献 3}によると間伐の実施で地表面侵食が減少した事例は、間伐時に林床に残される枝条による地表保護や、林床の光環境を改善したことによって繁茂した下層植生の被覆によるものと考えられる。下層植生の有無が地表面侵食に大きく影響することは従来から指摘されてきたが、林野庁が多数の県の参加で行った研究結果により裏付けられた。地表から2m程度の高さまでの下層植生の現存量と地表面侵食量の関係(図 2.1-10)^{文献 3}から、地表面侵食量の大きい林分では、下層植生の現存量が少なく、下層植生の多い林分では地表面侵食量が少ないという関係があり、下層植生の現存量に対応して地表面侵食量の一定の上限値がみられた。

なお、間伐は林床の環境を改善する一方で、間伐された立木の根は腐朽することで引き抜き抵抗力が弱まり、崩壊防止力が弱くなる。阿部ほか(2004)^{文献 2}が間伐林分と非間伐林分の崩壊防止力の時間的変化をシミュレーションした結果(図 2.1-11)、間伐を3回実施したスギ林分、間伐を4回実施したスギ林分、非間伐スギ林分ともに20年生までの斜面安全率(1.0未満の時、豪雨によって土壌水分が増加すると崩壊発生の可能性があることを示す指標)に差は見られず、間伐を4回行う場合は、20年生以降から他の場合よりも斜面安全率が低くなった。また、35年生までは間伐を3回行う場合と非間伐林分の斜面安全率はほぼ同じだが、それ以降は3回間伐を行う林分の斜面安全率が低くなった。なお、この結果はスギの根系のみによる崩壊防止力を推定したためで、実際には間伐を実施した疎な林分では

下層木が進入するため、下層木の根系が崩壊防止力の低下を補う役割を果たす可能性もある。

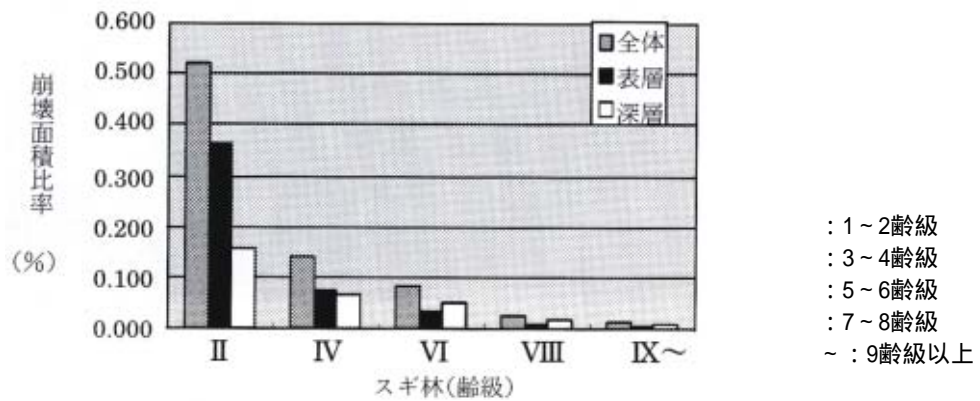


図 2.1 - 8 福井豪雨時におけるスギ人工林の年齢別の山腹崩壊の状況 (年齢別崩壊面積比率)
 参考: 鈴木・今井 (2006) 「福井豪雨における森林災害 上 山腹崩壊発生原因と対策の方向について」 山林 2006.10.

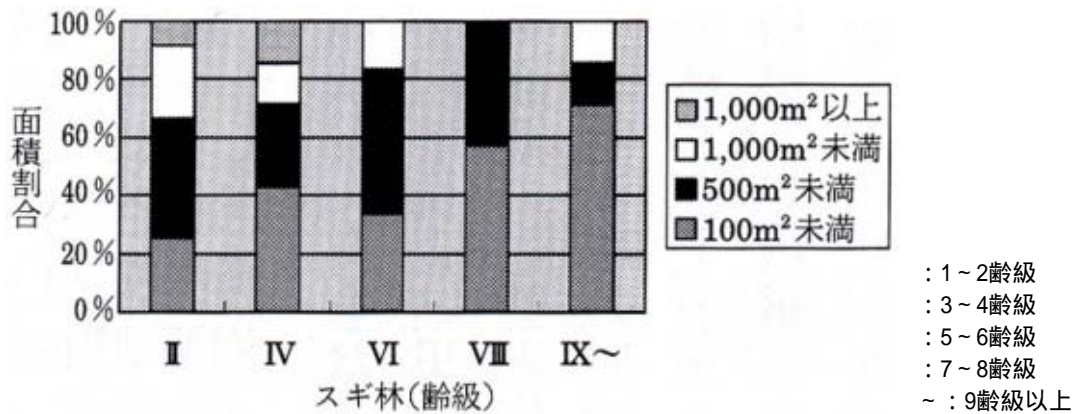


図 2.1 - 9 福井豪雨におけるスギ人工林の年齢別の山腹崩壊の状況 (年齢別表層崩壊の面積割合)
 参考: 鈴木・今井 (2006) 「福井豪雨における森林災害 上 山腹崩壊発生原因と対策の方向について」 山林 2006.10.

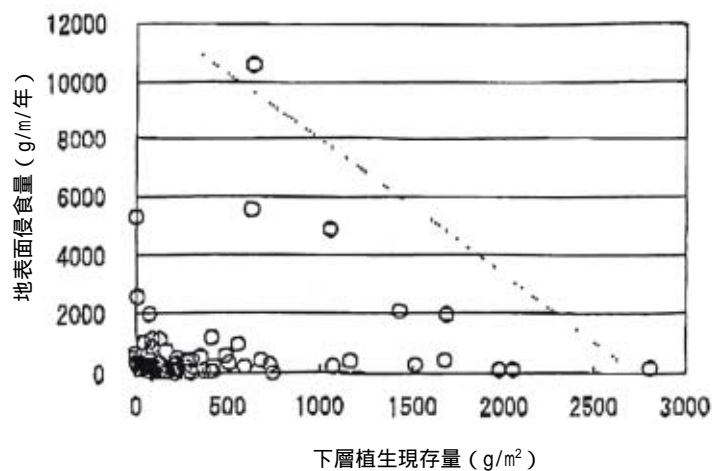


図 2.1 - 10 全国の人工林における下層植生現存量と地表面侵食量

参考: 荒木誠、阿部和時 (2005) 「間伐は森林の土壌を守れるか？」 森林科学 No.44

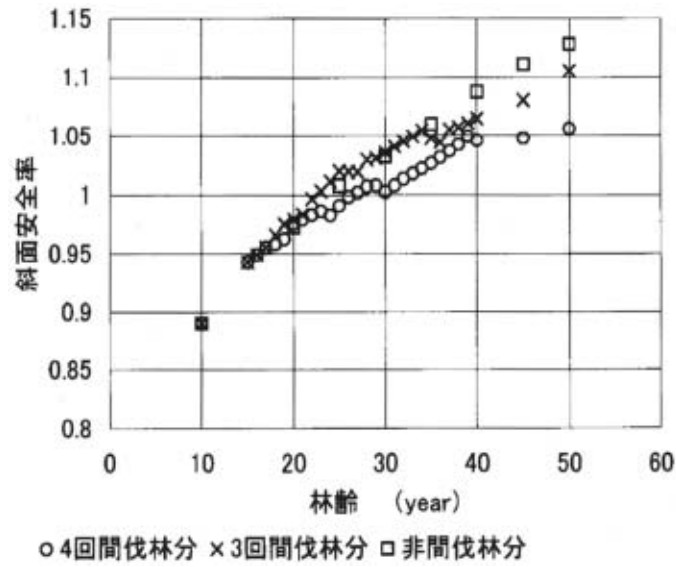


図 2.1 - 11 シミュレーションによる間伐林分と非間伐林分の崩壊防止力の時間的变化
 参考：阿部和時、黒川潮、竹内美次（2004）「間伐が森林の持つ表層崩壊防止機能に及ぼす評価手法の開発」日本地すべり学会誌 第41巻 第3号

(3) 流木の流下状況

1) 流下に伴う流木の形態変化

溪流の上流域で発生した流木が土石流とともに溪流を流下する際には、土石流中の石礫や溪岸、溪床との衝突により流木の細い幹の部分は折損して長さが短くなるのが一般的である。石川ほか(1989)文献⁷が調査した1988年7月の広島災害の事例では、流木の長さは発生源の立木の長さの約1/3~1/2であり、流木の平均長は土石流流下幅の最小値、すなわち狭窄部の幅とほぼ同じであった。(図 2.1 - 12)これは狭窄部の流下幅よりも長い流木が狭窄部等で捕捉されてしまい、下流に流下しないためと考えられる。

水山(1991)文献³⁰は、1989年9月に愛知県豊根村伊香川で発生した土石流災害において、発生源の立木の樹高と堆積している流木の長さを比べ、堆積している流木の長さが立木に比べて短く、ほとんどが10m以下であることを示した(図 2.1 - 13)。

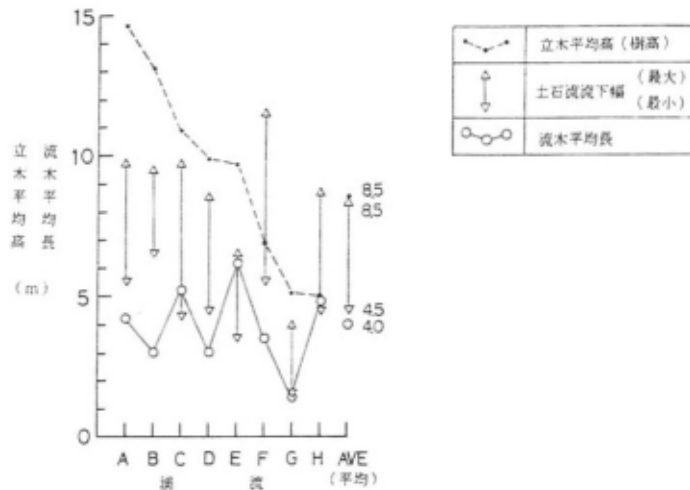


図 2.1 - 12 広島災害における発生流木の長さ と流下幅

参考：石川ほか(1989)「土砂流出に伴う流木の発生及び流下機構」新砂防 Vol.42 No.3

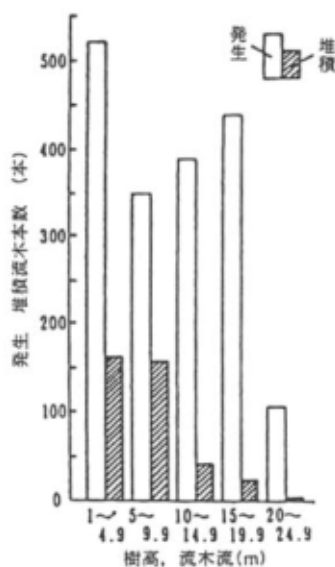


図 2.1 - 13 1989年9月の伊香川(愛知県豊根村)における発生流木と堆積流木の長さの分布

参考：水山(1991)「流木の発生形態と対策」102回日本林学会論文集

2) 流木の流下特性

流木が流下する際、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が、洪水時には流木は水面付近を浮いた形で流下する。このような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ており、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分離して捕捉することが基本となる。(石川, 2006) 文献⁵

岩元ほか(1994)文献⁹の調査による、1993年6月の出水で筑後川の各観測点において測定された流木群の動態を降雨と水位に関する流木ハイドログラフで図 2.1 - 14に、ハイドログラフから読み取った各観測点間における洪水の伝搬速度と流木の流下速度を表 2.1 - 2に示す。流木の流下速度(V_T)は洪水の流下速度(V_P)の約1/2程度で、比較的緩慢であった。これは流木が流下する際、枝や根系部による流水抵抗の増加があり、また河川の蛇行や橋脚との衝突等があったために減速したものである。

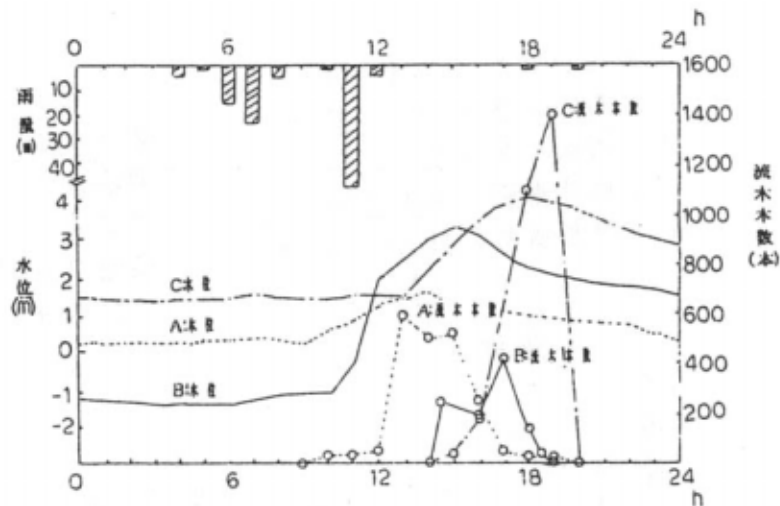


図 2.1 - 14 1993年6月の出水における筑後川での流木ハイドログラフ

参考：岩元ほか(1994)「風倒木地帯の2次災害発生機構に関する研究 筑後川の流木発生と流下特性」土木学会第49回年次学術講演会講演概要集

表 2.1 - 2 1993年6月の出水における筑後川での洪水と流木の流下速度の比較

地点	河川延長 (km)	流木流下時間 T_T (hr)	流木流下速度 V_T (km/hr)	洪水流下時間 T_P (hr)	洪水流下速度 V_P (km/hr)
島内堰～恵蘇宿橋	21	4～6	5.3～3.4 (4.4)	2～5	10.5～4.2 (7.35)
筑後大堰～恵蘇宿橋	34	4～6	7.8～5.2 (6.5)	2～5	15.5～6.2 (10.9)

参考：岩元ほか(1994)「風倒木地帯の2次災害発生機構に関する研究 筑後川の流木発生と流下特性」土木学会第49回年次学術講演会講演概要集

(4) 流木の堆積・捕捉状況

1) 流木の堆積・捕捉要因

南ほか(2000)文献³²によると、1998年の栃木県余笹川水害で流木が堆積した要因は以下の3種類に分類できた。

- a. 構造物により停止したことによる堆積
- b. 溪畔林等の立木に引っかかることによる堆積
- c. 水位の低下に伴う河床との摩擦による堆積

その他、ダム貯水池による捕捉・堆積(鈴木・渡邊, 2004)文献²³、小渓流の狭窄部、溪流沿いの水田による捕捉・堆積(今井・鈴木, 2006)文献⁸などが報告されている。

今井・鈴木(2006)文献⁸によると2004年の福井豪雨による足羽川流域の事例では、本川から発生した材積の73%が流域外に流出したが、流入する溪流から発生した材積は、小渓流で狭窄部が多いこと、溪流沿いに水田が発達し、土石流や流木が堆積しやすい地形であったこと、橋梁が低いことなどの理由で、ほとんどが流域内に堆積し、流域外に流出した材積は9%程度であった。

2) 構造物による捕捉・堆積

(a) 治山ダム・砂防ダムによる捕捉

石川ほか(1989)文献⁷による、各地の土石流災害における、流木の流出率(発生流木数に対する堆積域に流下した流木の本数)と流域面積との関係を図 2.1 - 15に示す。流木の流出率は、流域面積による差異はみられず、砂防ダムや治山ダムのような施設による流木の流出率の減少が認められた。本来流木の捕捉を目的としていない砂防ダムや治山ダムのような施設でも、ある程度の流木捕捉効果があると言える。

台風10号による山地災害対策検討委員会(2004)文献²⁴が、2003年台風10号による流木・土砂災害を調査した結果、新冠町、門別町における1~33基の治山ダムを有する7溪流で、53~1,394m³の流木を捕捉した。また、溪流内の治山ダムの基数が多いほど捕捉される土砂や流木が多くなる傾向が見られた(表 2.1 - 3)。

小山内ほか(1998)文献¹³によると、土石流区間に設置された不透過型砂防ダムでは、流木捕捉効果として総捕捉量(土砂+流木)の1%まで、透過ダムでは総捕捉量の10~30%の範囲(通常20%)で流木対策計画が策定されている。小山内ほか(1998)文献¹³による流木の捕捉実態のアンケート結果によると、土石流区域に設置された不透過型コンクリート砂防ダムでは、5ダム中4ダムが総捕捉量の1%以上流木を捕捉する効果を有しており、土石流区域に設置された透過型砂防ダム(鋼製スリットダム)では総捕捉量の20%前後、流木を捕捉する効果を有しているとの回答が得られた(図 2.1 - 16)。

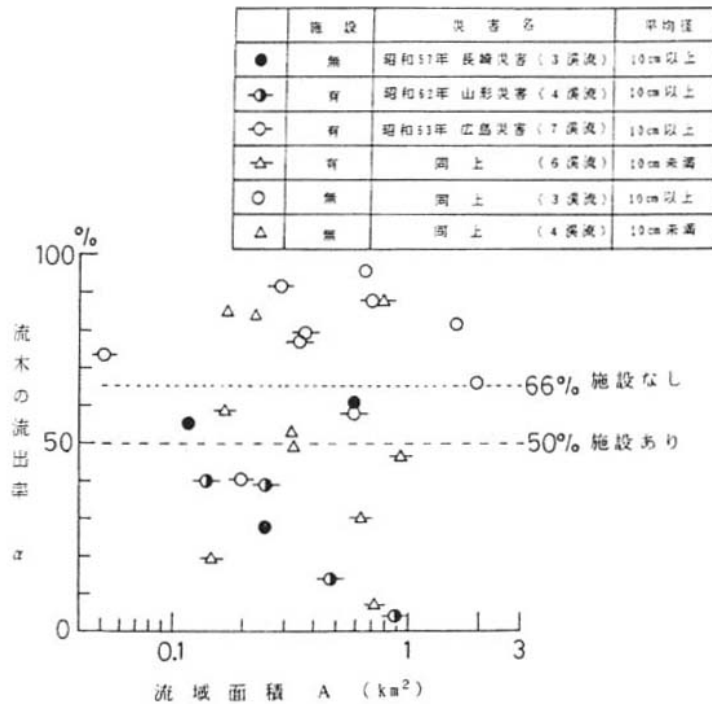


図 2.1 - 15 各地の土石流災害における流域面積と流木の流出率

$$\text{流木の流出率 (\%)} = \frac{\text{谷の出口から河床勾配約10度以下の堆積域にまで流下した流木本数} \times 100}{\text{谷の出口より上流での全発生流木本数}}$$

参考：石川ほか (1989) 「土砂流出に伴う流木の発生及び流下機構」新砂防 Vol.42 No.3

表 2.1 - 3 2003年台風10号時の新冠町・門別町における流木流出状況、治山ダムの流木捕捉量

調査項目	流域名	単位	青木の沢	草野の沢	成田の沢	森永の沢	東川4の沢	帯牛沢	チャラセ沢	備考
流域面積	①	km ²	0.34	1.35	1.05	1.08	0.304	0.874	0.223	
崩壊面積	②	km ²	0.05	0.15	0.1	0.11	0.024	0.06	0.013	新橋・橋大倉む
崩壊率	③=②/①	%	14.7	11.1	9.5	10.2	7.9	6.9	5.8	
平均叢積	④	m ² /km ²	10,400	13,300	15,300	17,200	24,000	14,800	18,800	
発生流木の材積	⑤=④×②	m ³	500	2,000	1,500	1,900	580	890	240	
河道内流木量	⑥	空m ³	1,400	14,200	14,400	9,300				
材積に変換	⑦=⑥×0.1	m ³	140	1,420	1,440	930	260	440	80	0.1m ³ /空m ³
滞留率	⑧=⑦/⑤	%	28.0	71.0	96.0	48.9	44.8	49.4	33.3	
流木の流出量	⑨=⑤-⑦	m ³	360	580	60	970	320	450	160	
流木の流出率	⑩=⑨/⑤	%	72.0	29.0	4.0	51.1	55.2	50.6	66.6	
ダム上部(堆砂域)捕捉量	⑪	m ³	135	1,290	1,394	100	128	127	53	
治山ダムの流木捕捉率	⑪/⑦	%	96.4	90.8	96.8	10.8	49.2	28.9	66.3	
治山ダムの基数		基	4	33	16	11	3.5	1	4	

参考：台風10号による山地災害対策検討委員会 (2004) 「台風10号による山地災害対策検討委員会報告書」

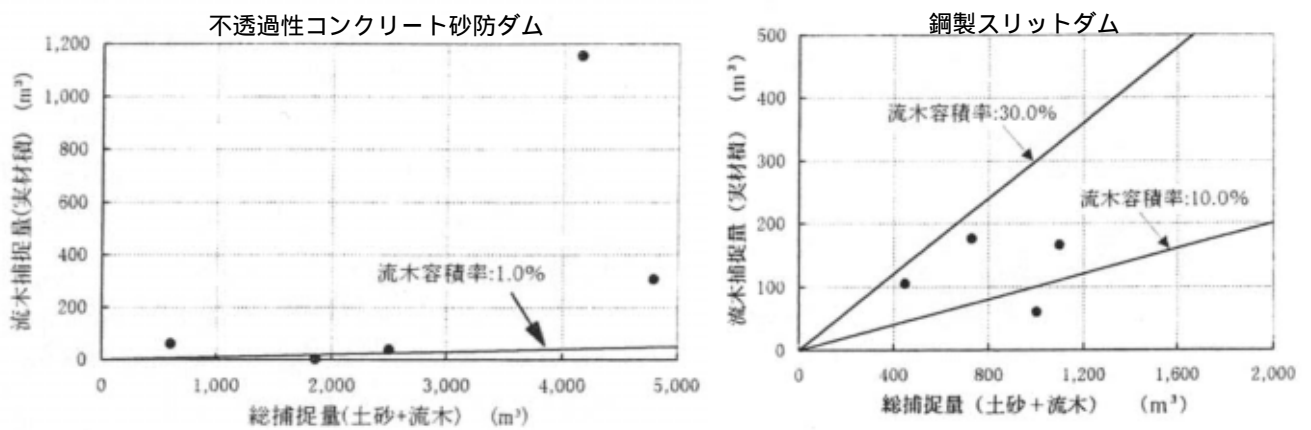


図 2.1 - 16 アンケート調査による砂防ダムの種類別の流木捕捉効果

参考：小山内ほか(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

(b) 橋梁による捕捉・堆積

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形態は、流木災害の中でも特に人命等への危険性が高く、被害も大きい(石川,2006)文献⁵。

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(足立・大同,1957文献¹、南ほか,2000文献³²)。また、足立・大同(1957)文献¹によると、流木が橋脚に堰止められる確率は、2本目、3本目と既に何本かが堰止められていると急に増大し、また数本が堆積すると互いに組み合って流出し難くなることが認められる。

3) 河畔林・溪畔林による捕捉・堆積

北海道立林業試験場(2004)文献²⁸は2003年台風10号に伴う集中豪雨による厚別川流域における流木の発生状況、堆積状況の調査を行った。その中で流木堆積量の調査結果と被害前の河畔林の分布を重ね合わせるにより、河畔林内に堆積した流木の捕捉量を算出し、調査対象区域の中では厚別川の上流～中流域を除いた各流域で、河畔林の流木捕捉量が河畔林からの流出量より多いことを示し(表 2.1 - 4、図 2.1 - 17) さらに厚別川流域全体の河畔林による捕捉量11,117m³は流木堆積量全体の24%にあたることを示した。

表 2.1 - 4 2003年台風10号時の厚別川流域の河畔林からの流木流出量と河畔林による捕捉量

	河畔林由来の流出量 (m ³)	河畔林による捕捉量 (m ³)	流木堆積量 (m ³)
厚別川本流(上～中流域)	2,410	1,692	13,707
厚別川本流(中～下流域)	3,637	5,754	8,118
里平川流域	1,005	2,673	15,932
比宇川流域	515	536	5,821
元神部川流域	246	462	2,682
合計	7,814	11,117	46,260

参考：北海道立林業試験場(2004)「平成15年台風10号に伴う集中豪雨による流木発生等実態調査にかかると報告書」



図 2.1 - 17 2003年台風10号時の厚別川流域における河畔林による流木捕捉の状況

参考：北海道立林業試験場(2004)「平成15年台風10号に伴う集中豪雨による流木発生等実態調査にかかると報告書」

4) 水位の低下に伴う河床との摩擦による堆積

流出した流木が平地などの緩勾配の場所に到達すると、掃流力の減少や水位の低下により、流木が堆積しやすくなる。流木の堆積を支配するパラメータとしては流木の直径・長さ・密度の他に、流水の密度・水深・流速、地盤の勾配・粗度、障害物の有無等が考えられる。

石川ほか(1992)^{文献6}によると、熊本県一の宮町の事例では泥流・流木の氾濫・堆積範囲は地盤勾配も緩く、流木に作用する流体力が小さいため、流木の氾濫・堆積は水深及び障害物の存在により大きく作用されたと考えられる。図 2.1 - 18に熊本県一の宮市の事例でのシミュレーションによる泥流の水深分布と、実際の流木の堆積分布を示す。現地調査から、流木の平均直径は約20cmであったが、流木の堆積範囲は泥流の水深20cmの範囲とほぼ一致していた。また、家屋が多い地点で流木の堆積が多く、家屋による捕捉効果が作用しているものと考えられる。



図 2.1 - 18 平成2年7月の集中豪雨時の熊本県一の宮市におけるシミュレーションに基づく泥流の氾濫による水深分布及び実際の流木堆積分布

参考：石川ほか(1992)「熊本県一の宮町における泥流・流木の氾濫・堆積特性と家屋の被害」土木技術資料 Vol.34 No.6

5) 貯水池等による捕捉

鈴木・渡邊(2004)文献²³によると台風10号による洪水による沙流川河口から二風谷ダム下流までの流木量は、二風谷ダムに対流していた流木量の4%であった。これは二風谷ダム上流域から流出した流木のほとんどが二風谷ダムによりせき止められたものと考えられる。

林野庁森林整備部(2003)文献³⁴によると大井川上流にある大規模ダムにおける、流域面積で除した単位面積あたりの流木回収量は1km²あたり3.0~4.3m³/年、平均3.8m³/年である。回収方法が異なるため単純に比較はできないが、利根川の大規模ダムにおける単位面積あたりの流木回収量は藤原ダムでは1km²あたり0.09~0.94m³/年、平均0.49m³/年、相俣ダムでは1km²あたり0.15~7.22m³/年、平均2.68m³/年、園原ダムでは1km²あたり0.09~5.87m³/年、平均0.87m³/年であり、上流に大規模なダムを持つ藤原ダムでは値が小さく変動が少ない。また、急峻で雨量の多い南アルプスを流域とする大井川上流のダムの値は全国的にも大きな値を示している可能性が高い。

6) 森林による土石流の堆積効果

土石流の通過経路にあたる谷間の森林の存在に対しては、災害源としてのマイナスの評価が強く与えられているが、森林に土石流や土石流に含まれる流木を堆積させる効果があることが確認されている。土石流は流体であるが、高速で流下している時は塊状体として衝突し、その経路にある森林をなぎ倒す。土石流の堆積層が溪床全面を覆うような本格的な堆積は13°以下で、7~8°程度のものが多い。速度を低下させた土石流は分流が容易に行われるようになり、一部の材木を倒しながらも林分内にかなり深く進入し、堆積する。これに対して勢いのよい土石流は分流化しにくいいため、林木をなぎ倒すか、林木の抵抗によって停止する(竹下,1992)文献²⁵。

樹木の前面付近で立木の破壊が生じると、その倒木が土砂制御効果を高めることもある。芝寄ほか(2003)文献²¹は2001年台風11号による和歌山県東の川で起きた土石流の事例から、樹間で石礫がかみ合った場合よりも、流木や倒木が樹間に横たわった場合のほうが土石流堆積深が深く、土砂を捕捉する効果が高いことを示した。

ただし、森林帯の規模が小さくて本流部に堅固な倒木ダムができないような場合には、土石流は流木もろとも下流に押し出して被害をもたらす場合もある(竹下,1992)文献²⁵。

2.1.3 流木災害の状況

(1) 流木災害の区分

流木による災害の形態を大きく分類すると以下の通りである。(石川,2006) 文献 5

- ・ 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。
- ・ 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圧力により橋梁が押し流される。
- ・ 取水堰や放流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。
- ・ 土砂調節を目的とした透過型の砂防ダム等のスリット部を閉塞し、土砂の調節機能を低下させる。
- ・ 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。
- ・ 貯水池等に貯まって一部が沈積する。これらは腐敗し、水質や景観を損ねる。
- ・ 海に流出して船舶の航行の障害になり、海岸に漂着してゴミとなる。

(2) 全国のダム貯水池における流木発生状況

ダム貯水池に流木が流入した場合、施設への衝突による損傷を与えるだけでなく、ゲート設備に流木が引っかかり操作に支障を生じた例も報告されていることから、流木はダム管理者により処理されている。通常は貯水池に設置された網場で捕捉されて集積作業、撤去を行った上で処理される。以前は陸地で乾燥し、管理者自ら焼却処分していたが、現在では焼却が不可能となり、多くは廃棄物処理業者による処理が行われ、また近年ではチップ化、炭化、堆肥化等の再資源化も積極的に進められている(久保田,2006) 文献 16。

1) 直轄ダム等における流木の発生状況

(a) 過年度に実施した流木流入量の調査概要

全国的な流木流入量及び流木利活用状況の把握を目的とし、(財)ダム水源地環境整備センターでは平成16～17年に下記の国土交通省直轄ダム、(独)水資源機構管轄ダム及び主要都道府県の補助ダムにおいて流木流入量等に関する調査を実施した(牧ほか,2007)。 文献 29

国土交通省の直轄ダム	79箇所	}	合計196箇所 (有効回答183箇所)
水資源機構	20箇所		
都道府県の管轄ダム	97箇所		

(補助ダムは地域的な偏りをなくし、集水面積の大きさ等を考慮して選定)

アンケート調査により明らかになった、対象ダムにおける1ダムあたりの流木流入量は、平均550m³/ダム/年(2004年)である。また、流木の最大流入量(上位5箇所)とダム周辺環境について表 2.1 - 5に整理した。

表 2.1 - 5 対象ダムにおける過去最大流入量とダム周辺の環境

順位	ダム名		最大流入量 (m ³ /年)		ダム周辺の環境
1	二風谷 ダム	北海道	51,902	H15	ダム流域の地形は、上流部では大起伏山地～中起伏山地であり、ダム湖周辺では小起伏山地となる。また、河川に沿って砂礫台地(中位～下位)が下流部に細長く分布している。 ダム流域における主な樹林は、ダム湖に近い下流域ではカラマツ植林、エゾイタヤ・シナノキ群集等が多くを占め、上流域ではエゾマツ・トドマツ群集、エゾマツ・ダケカンバ群集等が多くを占めている。また、河川周辺の砂礫台地は畑地となっている箇所が多い。
2	下笠ダム	大分県	45,716	H5	ダム流域の地形は、小～中起伏山地がほとんどを占め、砂礫台地(中位)が河川に沿ってスポット状に見られる。 ダム流域における主な樹林は、ダム湖に近いところではサカキ・コジイ群集、アラカシ・ジャノヒゲ群集、クヌギ群落等が多く占め、上流域は殆どがスギ・ヒノキ・サワラ植林で占められる。
3	矢作ダム	岐阜県	35,000	H12	ダム流域の地形は、西～南部では小起伏山地が多くを占め、北～東部では中起伏山地が多くを占める。また、河川に沿って砂礫台地(中位)が下流部に細長く分布している。 ダム流域における主な樹林は、北～西部ではスギ・ヒノキ・サワラ植林が殆どを占め、東部ではヒメヤシャブ・タニウツギ群落、コバノミツバツツジ・アカマツ群落等が多くを占めている。また、河川周辺の砂礫台地は水田となっている箇所が多い。
4	美和ダム	長野県	18,000	S57	ダム流域の地形は、西部にわずかに中起伏山地があるのみで、その殆どを大起伏山地が占める。また、河川に沿って砂礫台地(中位)が下流部に僅かながら分布している。 ダム流域における主な樹林は、ダム湖に近い下流域ではカラマツ植林、クリ・ミズナラ群落等、上流域ではシラビソ・オオシラビソ群落、コメツガ群落等が多くを占めている。
5	四十四田 ダム	岩手県	7,346	H16	ダム流域の地形は、東部に小～中起伏山地、西部に小～中起伏火山地が占める。また、河川に沿って砂礫台地(中位)が広く分布している。火山地では崩壊地形も見られる。 ダム流域における主な樹林は、東部の火山地ではカラマツ植林、ススキ群落等、西部の山地ではコナラ群落、クリ・ミズナラ群落、カラマツ植林等が多くを占めている。また、河川周辺の砂礫台地は水田・畑地となっている箇所が多い。

(b) ダム貯水池の堆砂量と流木流入量の関係

a) ねらい

流木の発生メカニズムを明らかにするために、ダム貯水池の堆砂量と流木流入量との関係に着目する。

b) ダム水源地環境整備センター(WEC)による調査(過年度)

個々のダムに着目して、相関解析を行ったが、明確な相関関係が見出せなかった。相関が見受けられなかった理由としては以下のことが考えられる。

- ・ 年間堆砂量及び年間流木流入量の両方のデータがそろっているダムを対象とする。
- ・ 堆砂量は、原則200mピッチの横断測量結果を引き伸ばして算定しているため、精度が低い場合が多い。
- ・ 流木は一旦湖岸に滞留してから流下する場合、タイムラグが生じることがある。
- ・ 流木流入量の取得時期と堆砂測量の実施時期が大きく異なる場合がある。

- ・ 計測前に流木が湖内に沈んでしまう場合がある。

そのため、年間堆砂量及び年間流木流入量の両方のデータがそろっているダムを対象に、全国ダムの年間堆砂総量及び年間流木流入総量を用いて解析を行った。

c) ダム貯水池堆砂量と流木流入量の相関関係

全国ダムの年間堆砂総量と年間流木流入総量を基に解析した結果を図 2.1 - 19にまとめた。

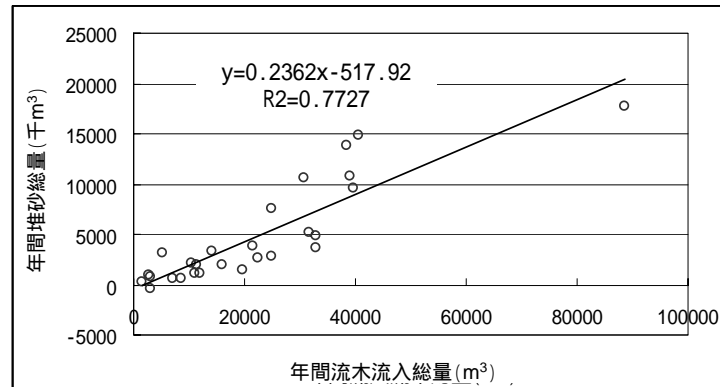


図 2.1 - 19 全国ダムの年間堆砂量と年間流木流入総量の相関

d) まとめ

全国ダムの年間堆砂総量と年間流木流入総量は、寄与率 $R^2 = 0.77$ と高い相関を示している。

全国で見ると年間堆砂総量と年間流木流入総量の相関をある程度表す指標となりうるものがうかがえる。

(c) 流木流入量に関する分析

全国ダムのアンケート調査によると、年間の単位流域面積当たり流木流入量(図 2.1 - 20)は $0.1 \sim 2\text{m}^3/\text{km}^2/\text{年}$ のダムが比較的多くなっている。

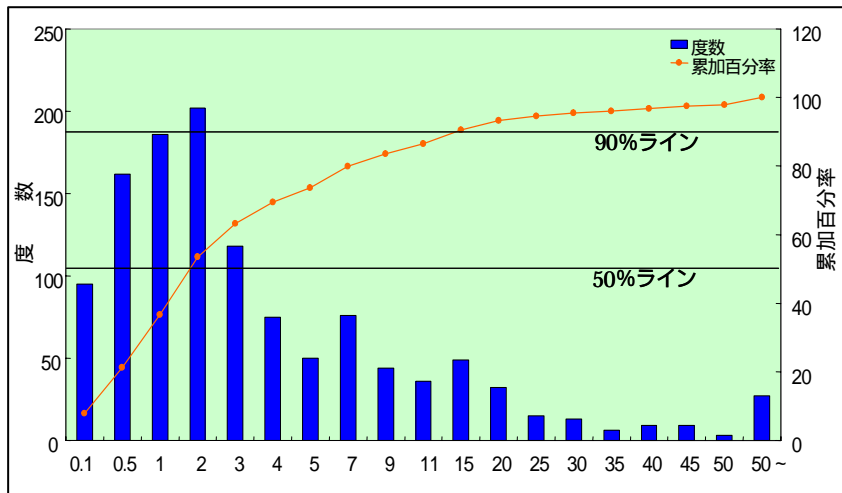


図 2.1 - 20 単位流入面積あたり流木流入量 (m³/km²/年)

ただし、ダム上流に分布する森林状況等による影響を考慮しておらず、発生要因の分析までは至っていない。

(d) 流木利用の現状

図 2.1 - 21に示す、ダムにおける流木の利活用実施状況を見ると、流木利用の取り組みは以前よりも活発になっているが、未だ廃棄物として流木を処分しているダムが5割以上ある。

流木処理のためにダム管理の負担となっているのが現状である。

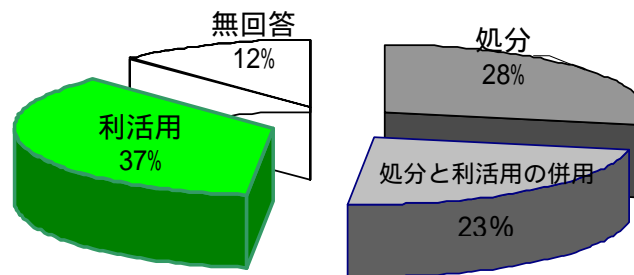


図 2.1 - 21 ダムにおける流木の利活用実施状況
(独) 土木研究所、(財) ダム水源地環境整備センター の独自調査による

(e) 流木によるダム管理への影響

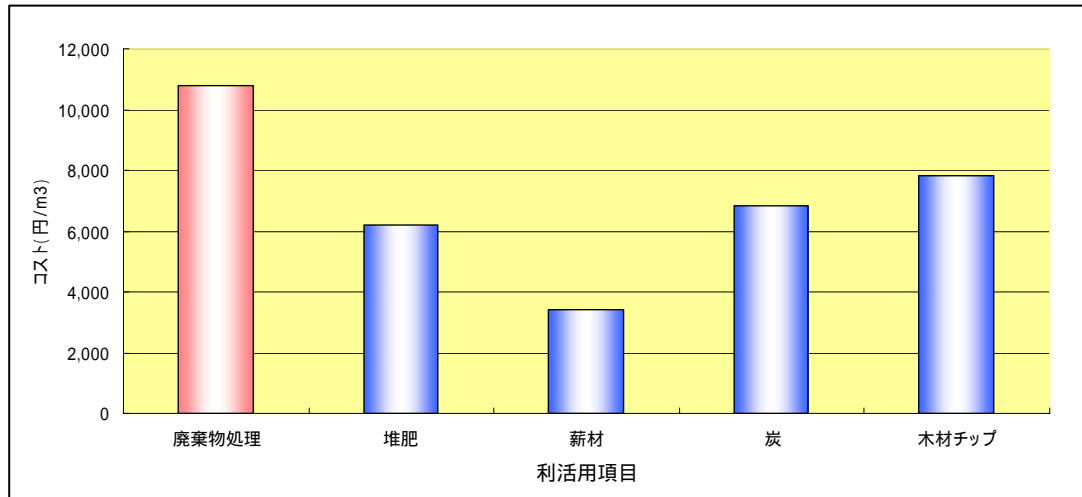
流木によるダム管理への影響については、以下に示すものがあげられる。

- ・ 網場を通過した流木によるゲート機能の障害（開口部の閉塞、流木の挟み込み、水密ゴムの破損等）
- ・ 網場の破損
- ・ 巡視船の航路障害

- ・ 流木が滞留・沈降することによる水質悪化の懸念
- ・ 景観の悪化
- ・ 処理費用の発生

(f) 流木の一般廃棄物処理費用

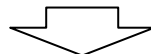
流木を処理するためには、収集、引き上げ、運搬及び一般廃棄物処理又は利活用のための費用が発生し、ダム管理の負担となっている。



流木収集	: ¥ 5,600 / m ³	} ¥ 22,700 / m ³
流木引き上げ	: ¥ 3,500 / m ³	
流木運搬	: ¥ 2,800 / m ³	
処 理	: ¥ 10,800 / m ³	

図 2.1 - 22 廃棄物処分と利活用の費用

- 1 処理コストはあくまでも調査結果の平均値であり、実際は個々のダムにおいて地域特性などによるばらつきが生じる。
- 2 独立行政法人土木研究所、財団法人ダム水源地環境整備センターの独自調査による。



以上のことから、流入によるダム管理上の影響調査と防止策及び緩和策の検討を行うにはダム毎に流木の樹種構成、流木発生原因を調査することが必要であり、そのため流木流入量の多いダムで「流木分類」等による現地詳細調査を実施することが有効と考えられる。

流木分類調査対象ダムの選定理由

- ・ 過去の流木流入量調査より、流木流入量の多いダム
- ・ 現時点で一定量流木が発生しているダム、または流木を一定量仮置きしているダム。

2) 電力会社管理ダムにおける流木の発生状況

流木流入によるダム管理上への影響について、直轄ダムおよび電力事業者の管理ダムについて調査を実施しており、電力会社管理ダム（268事例）における状況を整理した。

- 電力ダムにおける網場の設置状況
- 電力ダムへの被害状況
- 流木によるダム機能への被害内容

(a) 電力ダムにおける網場の設置状況

電力事業者の電力ダム（268事例）の網場の設置状況を担当地方局別に表 2.1 - 6に整理した。（網場設置率 = 網場設定ダム数 / 調査対象電力事業者の利水ダム数 × 100%）

表 2.1 - 6 網場の設置ダム数及び設置率

全調査ダム数 （電力ダム）	網場設置済み ダム数	網場設置率
268箇所	79箇所	30%

1 電力ダムの網場設置は、「取水障害」を防止することが目的である。

2 「河川横断した網場」が設置されていたとしても、洪水時には網場切断時の流木一斉流下に伴うダム放流操作への危害、下流への甚大被害を考慮して、洪水が予想される前に取り外すことになる。

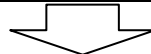
3 「網場設置率」については、「河川横断した網場」と「取水口付近の網場」を合計した値となっている。

(b) 電力ダムへの被害状況

対象とする268事例の電力ダムにおいて発生した、流木によるダムへの被害状況について表 2.1 - 7に整理した。

表 2.1 - 7 ダムの被害件数

	ダム数	網場設置（網場被害）	網場未設置
被害件数	30箇所	8箇所（4箇所）	22箇所
被害発生率	11.2%	9.5%（4.8%）	11.9%



調査対象のダムのうち、流木被害を受けたダムの割合は11.2%である。流木による被害発生率は、網場設置ダムは9.5%、網場未設置ダムは11.9%となっている。網場自体の破損や流出といった被害については、4.8%となっている。

(c) 流木によるダム機能への被害内容

網場の設置状況別の被害内容について表 2.1 - 8及び表 2.1 - 9、図 2.1 - 23に整理した。

網場未設置ダムの被害内容をみると、「ゲートの開閉への支障」が半数以上を占めていた。また、網場設置ダムの被害状況をみると、「網場の破損」が約50%、「ゲートの開閉への支障」が約37.5%となっていた。

表 2.1 - 8 電力ダム（網場未設置の流木被害内容と件数）

被害内容	件数
ゲートの開閉に支障	13件
取水口付近のみに設置された網場の流出	4件
取水口付近のみに設置された網場の破損	2件
取水口スクリーンの破損	1件
流木の流出	1件
取水口オイルフェンスの取付ロープの破損	1件
合 計	22件

<被害内容の主な事例>

- ・ 流木が戸当り部に挟まりゲートが全閉できなくなった。
- ・ 流木がゲートにかみこみ、一時開閉不能となった。
- ・ 取水口網場取付部が損傷した。
- ・ 取水口周りに設置した網場が流失した。
- ・ 取水口オイルフェンスの取付ロープが切断された。

表 2.1 - 9 電力ダム（網場設置）の流木被害内容と件数

被害内容	件数
ゲートの開閉に支障	3件
網場の破損	4件
ダム管理作業への支障	1件
合 計	8件

<被害内容の主な事例>

- ・ 流木がゲート戸溝に引っ掛かり、開閉が出来なかった。
- ・ 排砂ゲート呑み口に流木が留まった。
- ・ 大量の流木が流入し、調整池網場が損傷した。
- ・ 流入した流木がインクラインのレール等に挟まり船やゲートを降ろす際に支障となった。

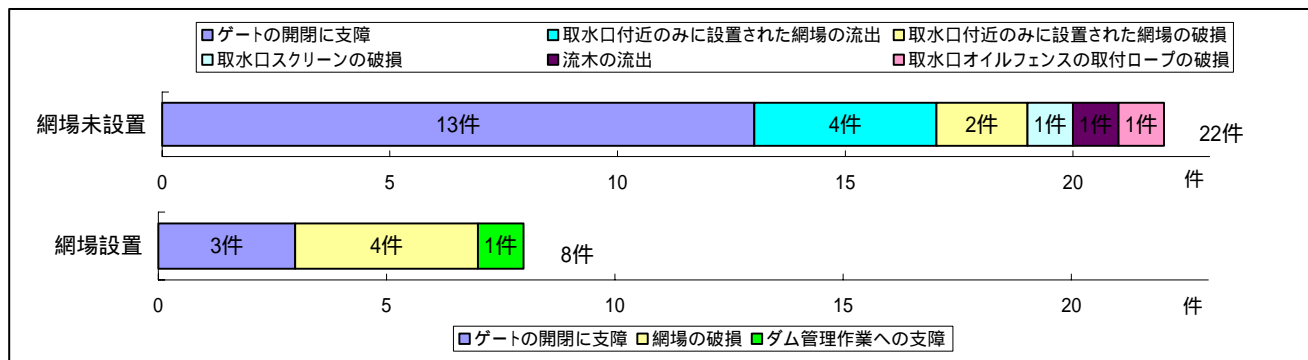


図 2.1 - 23 電力ダムにおける被害内容

(d) まとめ

- ・ 流木によるダム管理上への影響は、ゲートの開閉への支障となるケースが多い。
- ・ 電力ダムの網場設置は、「取水障害」を防止することが目的であり、全調査対象の電力ダムにおける網場の設置率は30%である。
- ・ 電力ダムにおいては、網場の設置の可否については、仮に「網場の破損」した場合の下流への影響、設置目的に対する費用対効果等を勘案して判断している。

(3) 海への流入状況

国土交通省中部地方整備局、林野庁森林整備部、水産庁増殖推進部（2003）^{文献 18}は、駿河湾西側沿岸域及び流入河川の流域を対象に河道の倒木等及び沿岸の漂着物の調査を行った。2002年台風7号の通過後には大井川河口周辺、三保周辺などに沿岸漂着物が多く、そのおよそ1/4～1/2が流木などの木質類であった（図 2.1 - 24）。

国土交通省中部地方整備局、林野庁森林整備部、水産庁増殖推進部（2003）^{文献 18}はヒアリングなどにより、海域における漂着物による被害の状況を取りまとめた（表 2.1 - 10）。それによると、海域では主に流木により海岸保全施設の機能低下、船舶の係留不能、船舶のスクリーンの破損、漁網への巻き込みといった被害がある。

なお駿河湾における沿岸に漂着する流木等による被害は、平成12年以前からあり、昭和50年代には既に国・県等に対して漂着した流木、生活ゴミなどの処理・処分の要望が提出されていた。しかし廃棄物処理法及び「静岡県生活環境の保全等に関する条例」の改正前には野焼きを行うことが可能であり、また薪等への利用といった生活の一部として住民や事業者によって持ち去られていたことから、長期間大量の漂着物が沿岸に残ることは少なかったと推察できる（国土交通省中部地方整備局、林野庁森林整備部、水産庁増殖推進部，2003）^{文献 18}。

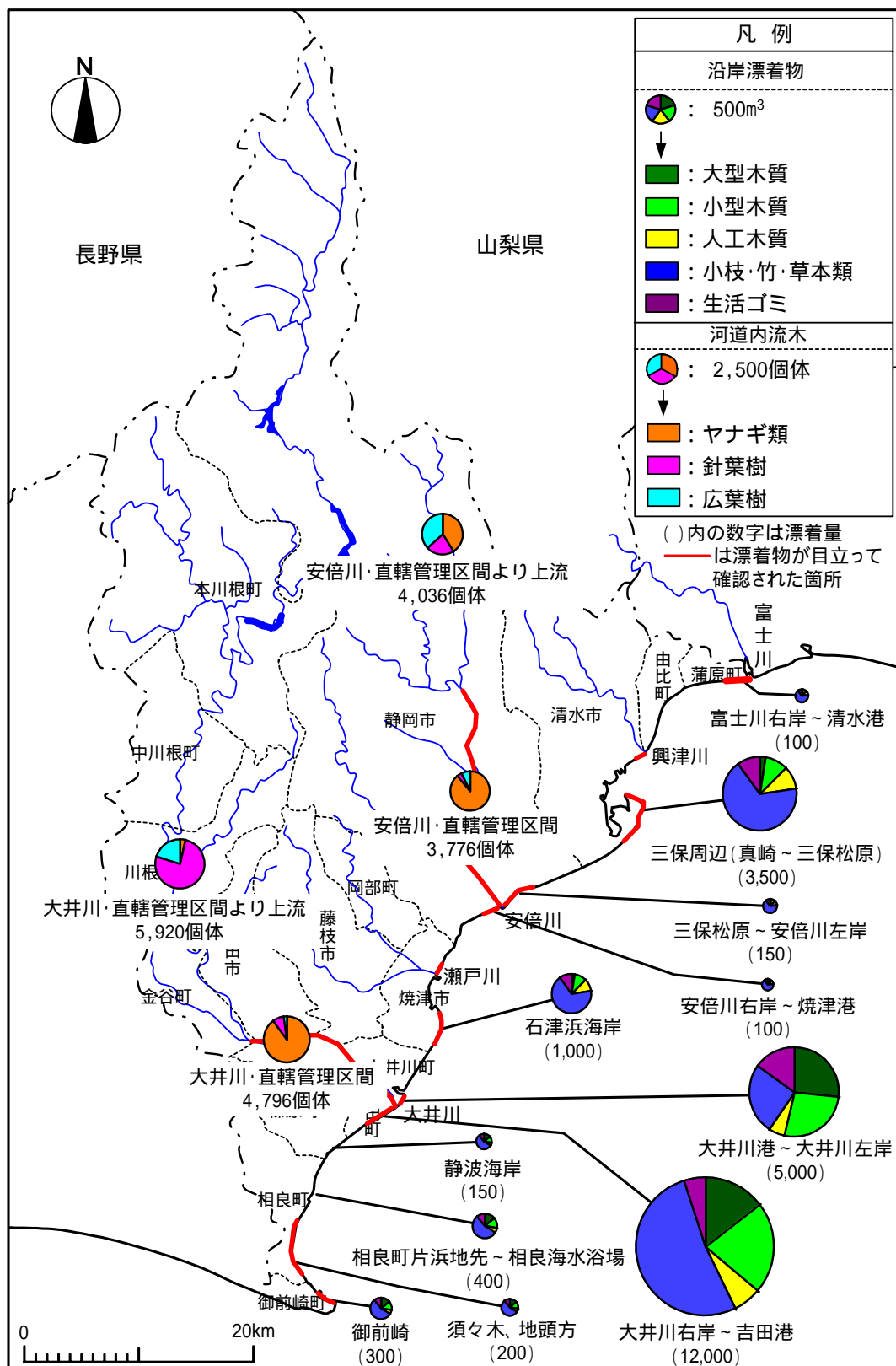


図 2.1 - 24 2002年台風7号通過後の駿河湾西側沿岸域及び流入河川における漂着物の量
 参考：国土交通省中部地方整備局、林野庁森林整備部、水産庁増殖推進部（2003）「平成14年度国土総合開発事業調整費 総合的な沿岸漂着物対策検討調査報告書」

表 2.1 - 10 海域における沿岸漂着物による被害のまとめ

大区分	治水・防災	利用			
中区分	直接的な被害	直接的な被害			
被害の場所	海岸	海岸・港湾・海域			
被害を及ぼす施設等	保全施設周辺への漂着	船舶の係留、入出港	船舶のスクリーへの影響	海水浴等海岸利用	漁業
ヤナギ類					
ヤナギ類以外の木質類(天然)					
人工木質類					
草本系					
生活ゴミ					
具体的な被害	消波機能の低下 防潮機能の低下	係留不能 入出港の不能	船舶スクリーへの破損	海水浴等海岸利用の阻害	漁網への巻込、水産物への混入

大区分	環境		処理	
中区分	直接的な被害		間接的な被害	
被害の場所	河川・海岸	海域	河川・港湾・海岸	
被害を及ぼす施設等	河川・海岸景観	海域生物の生息環境	回収・分別	焼却
ヤナギ類				
ヤナギ類以外の木質類(天然)				
人工木質類				
草本系				
生活ゴミ				
具体的な被害	景観の悪化	ウミガメの産卵への影響	回収が困難	焼却施設への負荷が大きい

凡例 : 影響大 : 影響あり 空欄: ほとんど影響を及ぼさない

参考: 国土交通省中部地方整備局、林野庁森林整備部、水産庁増殖推進部(2003)「平成14年度国土総合開発事業調整費 総合的な沿岸漂着物対策検討調査報告書」

2.1.4 流木対策

流木の発生対策としては、流木対策工・捕捉工などの施設強化をはじめとするハード面での整備と、警戒・避難体制強化など人命被害の防止を目的としたソフト面での整備がある。また、下層木や広葉樹林の植栽などの手入れを行うことで、崩壊そのものを抑制する整備も必要である。(石川,2006)文献⁵

ここでは、ダムにおける対策、治山事業における対策に加え、その他の対策として河川における対策、砂防事業における対策をとりまとめた。

(1) ダムにおける対策

ダム管理へ影響を及ぼさないために、通常ダム貯水池に流入した流木は、ダムサイト直上に設置された網場で捕捉され、陸地へ引き揚げられて処理される。

通常、網場の設計は、「ダム・堰施設技術基準(案)(社)ダム・堰施設技術協会、平成16年)」の流木止設備に準拠している。

ダム貯水池における網場設置の実績として多い設計条件

最大流速：0.5m/sec

最大風速：30m/sec

水面下の塵芥深さ：0.2m

しかし、大雨による影響で流速が速くなるとともに大量の流木が網場に集積した場合、網場が破断する事例、ダムゲート機能を阻害する事例、流速が速いことから網場の設置が見送られダムを越えて流下した流木が下流域に被害を及ぼす事例等があり、流木災害の軽減を図るために網場の設置及び機能強化が望まれる。



図 2.1 - 25 貯水池に設置された網場

(2) 治山事業における対策

1) 流木対策施設

主な流木対策施設の分類を表 2.1 - 11に、その施工例を図 2.1 - 26に、対策のイメージを図 2.1 - 27に示す。

表 2.1 - 11 主な流木対策施設と配置計画の考え方

工種\区間	掃流区域	土石流堆積区域	土石流流下区域	土石流発生区域
流木発生対策	治山ダム工、護岸工、森林整備	治山ダム工、護岸工、森林整備	治山ダム工、護岸工、森林整備	土石流発生対策 + 緊結工、集積除去等
流木捕捉対策	スリットダム、治山ダム工、森林整備	スリットダム、治山ダム工、森林整備	スリットダム、治山ダム工	土留工等
留意事項	流木は流れの表面に浮いて流れる	土石流と流木は一体となって流下する	溪床上への堆積土砂や倒流木が多い箇所を選定する	斜面崩壊、倒流木が起こりやすい箇所、既に発生している箇所を選定する

参考：林野庁（2004）「平成15年度特殊荒廃地等対策調査（「土石流・流木対策の手引き」策定調査）報告書」



図 2.1 - 26 流木捕捉効果のある治山事業の施工例

参考：不透過型堰堤：神奈川県丹沢2003年8月撮影

鋼製スリット堰堤：大分県前津江村2003年豪雨後の状況

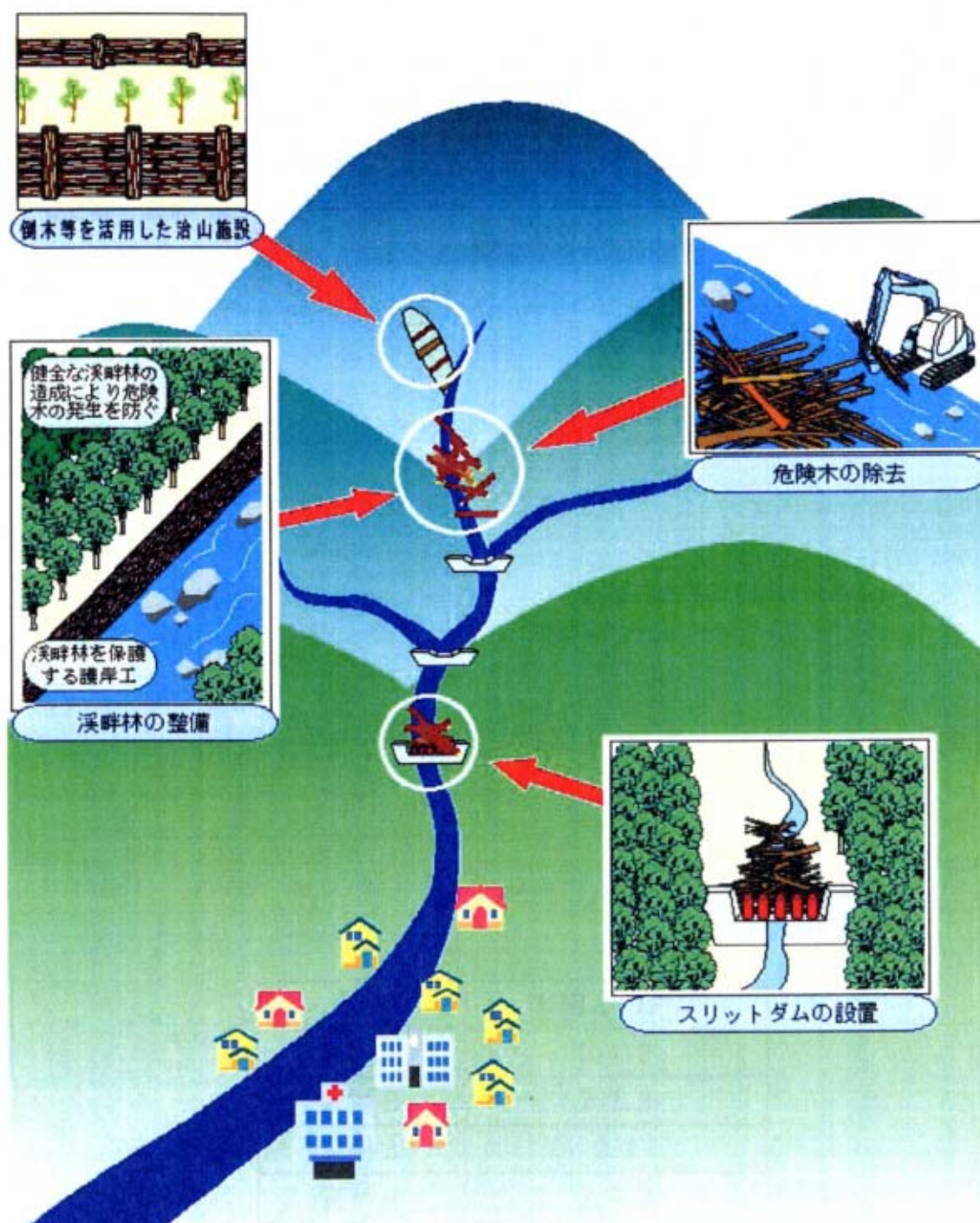


図 2.1 - 27 山地における流木対策施設

参考：林野庁森林整備部（2003）「平成14年度国土総合開発事業調整費 総合的な沿岸漂着物対策 検討調査 報告書」

2) 流域全体の森林整備

山地流域の大半を占める森林の持つ防災機能を高度に発揮させるためには、流域全体の森林を健全な状態に維持する必要がある。特に、間伐等の手入れ不足から防災機能が低下した人工林では、林床の植生が喪失したことによる表面侵食の発生や、気象害による森林被害発生の危険性が高まる。林業生産活動による十分な森林整備ができない保安林においては、治山事業による森林整備を行うことも考えられる。

(3) その他の対策

1) 河川における流木捕捉施設

ダム貯水池における流木捕捉検討を行う上で、河道内における流木捕捉施設の状況を把握するために、全国の河道内で検討あるいは実施されている流木捕捉施設の事例整理を行った(表 2.1 - 12)。

河道内の流木捕捉は、コンクリート製や木製のパイルスクリーン、湾曲部外岸部にパイルスクリーンやD型スリットを設けた貯水池、木製の築場方式で対応していた。北上川では、洪水で捕捉工天端(高さ3m)を上回り効果が低減したため、構造を再検討し杭の高さは変えず、八型配置へ変更予定である。河道内のパイルスクリーンは、大洪水時に越流し、捕捉効果が低減することが課題である。河道内における流木捕捉施設の事例は少ないのが現状である。

表 2.1 - 12 河道内の流木捕捉施設の概要

施設名	黒川流木捕捉施設	関川流木捕捉施設	北上川山田流木捕捉施設	砂鉄川流木捕捉施設	真室川流木(ゴミ)捕捉施設
概要図					
集積実績			<ul style="list-style-type: none"> ・H14.7 洪水では水位が捕捉工天端を上回ったため、捕捉効果が低減 ・流木捕捉率向上を目的に杭の高さは変えずに、八型配置に変更予定 	<ul style="list-style-type: none"> ・H14.7 洪水では大木で枝付き・根付きはなし。枝、丸太、塵芥が多い。 	
河川名	一級河川白川水系黒川(熊本県阿蘇郡)	一級河川関川(新潟県)	一級河川北上川(宮城県石巻市)	一級河川北上川水系砂鉄川(岩手県)	一級河川最上川水系真室川(山形県)
担当	熊本県一宮土木事務所	新潟県上越土木事務所	国土交通省北上川下流河川事務所	国土交通省岩手河川国道事務所	国土交通省新庄河川事務所
設置時期	H2.7の流木被害を契機に、平成7年設置	H7.7流木による供用被災を契機に、平成11年設置	H11の流木被害を契機に、平成12年設置	H14.7の流木被害を契機に、平成15年設置	河川環境向上を目指して、平成16年設置
捕捉概要	上流の砂防区域で捕捉できず、流下してきた流木を河川に隣接して設置した多目的貯木地内のスリットにて捕捉。平常時貯水池に水が入らないため、ピクニックや運動広場として利用できる。	2年確率程度の流量までは下流へ流出させ、それ以上の洪水時に流木を捕捉する形状を基本。河道法線変更して湾曲外岸部に設置	自然流下してきた流木を高水敷を掘削して設けた貯木用水路内の捕捉パイルにて捕捉。湾曲内岸部に設置	低水路河積の80%の木製パイルスクリーンを造り流木等を捕捉。湾曲外岸直下流に設置	低水路河岸に幅6m、長さ21mの梁型式の捕捉装置をつくりゴミ等を捕捉。ほぼ直線河道部に設置
捕捉型式	パイルスクリーン	D型スリット 杭：40cm 横@2.0m 高さ4.0m	パイルスクリーン(コンクリート製) 杭：60cm 横@1.3m 高さ3.0m 流木捕捉率は20%	パイルスクリーン(木製) 杭：18cm 横@1.5m 縦@3.0m 流木捕捉率は20%	築場方式(木製)
その他	黒川26.2km 勾配：約1/120	関川31.5k 勾配：約1/40 川幅：40m(貯木地幅 川幅) 低水路幅：40m	北上川21.0k 勾配：約1/10,000 川幅：600m、低水路幅：250m 捕捉幅：約70m	北上川68.4k右支川、北上川合流点から3.1k地点 勾配：約1/1,000、川幅：250m、低水路幅：22m、捕捉幅：16m	最上川50k右支川鮭川の20k合流点から1.8k地点 勾配：約1/350、川幅：130m、低水路幅：80m、捕捉幅：6m

参考：(財)河川環境管理財団資料

2) 砂防事業における流木対策

砂防事業における主な流木対策工（施設）の種類を表 2.1 - 13に、施設配置の模式図を図 2.1 - 28に示す。

表 2.1 - 13 流木対策工（施設）の種類

設置場所	流木発生抑制工	流木捕捉工
山腹斜面	斜面安定工	流木止工（柵工）
土石流区域	斜面安定工 護岸工 床固工 砂防堰堤等	透過型砂防堰堤 流木止工
掃流区域	砂防堰堤 床固工 水制工 護岸工	透過型砂防堰堤 流木止工 遊砂地 + 流木止工 不透過型砂防堰堤 + 流木止工

参考：石川（2006）「 章 流木災害と森林」森林科学 No.47

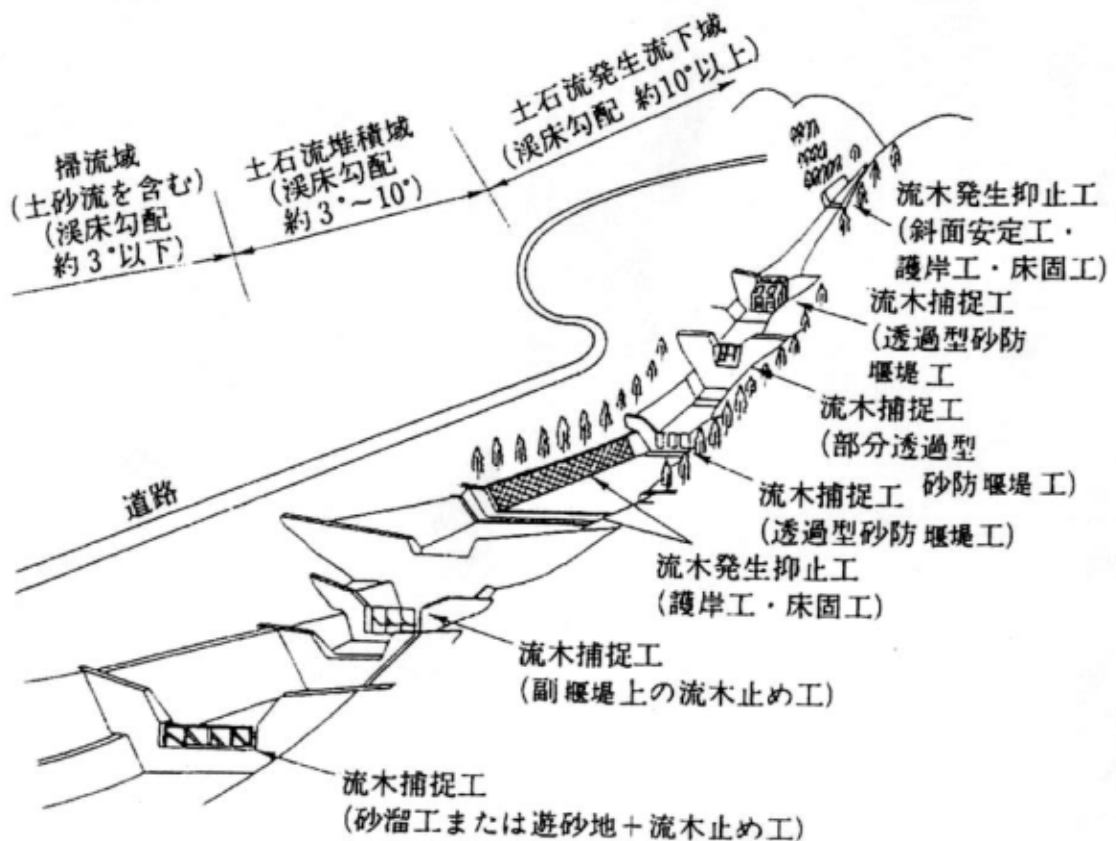


図 2.1 - 28 流木対策施設配置の概念図

参考：建設省砂防部砂防課（2000）「流木対策指針（案）計画編、設計編」

2.1.5 流木の発生に関する既往調査事例

流木の発生に関する既往調査の事例より、流入土砂及び流木に関する調査方法等を表 2.1 - 14に、調査結果を表 2.1 - 15に示す。

表 2.1 - 14 流木発生事例に係る調査方法

文献番号	文献名	発行年	著者名	対象イベント	対象河川	調査方法						検討方法	
						現地視察	現地崩壊地調査	流木の堆積量	崩壊地の植物調査	空中写真判読	聞き取り調査		既存データ解析
文献 8 文献 22	福井豪雨における森林災害 上 山腹崩壊発生原因と対策 の方向について 福井豪雨における森林災害 下 流木発生原因等と対策の 方向について	2006年	鈴木昌一 今井三千穂	2004年 7月18日 福井豪雨	福井県 足羽川流域								空中写真から崩壊地の位置を判読し、傾斜、植生、標高、地質、スギ人工林の整備の状況等との関係を検討した。また、林地被害面積を測定し、当該箇所の立木が流木になったとみなして材積を推定し、堆積量の現地調査結果との比較で収支を計算した。
文献 12	土砂流木災害の概要と教訓 愛媛県・平成16年台風災害	2005年	岡本敦	2004年 台風10～23号	愛媛県東予 東部地域								空中写真から崩壊地の面積を測定した。また「流木対策指針(案)」のサンプリング調査法で発生流木の幹材積を求めた。崩壊地と地質・地形・降水量分布、植生との関係を検討した。
文献 27	平成15年台風10号北海道豪雨 災害調査団報告書	2004年	独立行政法人 土木研究所 寒地土木研究所	2003年 8月9～10日 台風10号	額平川 厚別川 沙流川								空中写真と衛星写真から崩壊地の状況を調査し、地質、植生、地形、降雨の各要因との関係を整理した。新規または拡大した崩壊地面積に現地調査から求めた崩壊深を乗じて崩壊土量を求めた。新規または拡大した崩壊地面積に単位面積あたり材積(森林管理所から得た資料)を乗じて発生流木量を求めた。
文献 28	平成15年台風10号に伴う集中豪雨による流木発生等実態調査に係る報告書	2004年	北海道立林業 試験場		厚別川								空中写真から崩壊地の面積を測定し、森林簿から被害材積を算出した。現地調査で各地に堆積している流木の樹種、新旧、直径別の材積を求めた。また、樹種から河畔林由来または山腹由来の判別を行った。
文献 24	台風10号による山地災害対策検討委員会報告書	2004年	台風10号による山地災害対策検討委員会		厚別川 新冠川								治山ダム、砂防ダムの流木捕捉量を調査した。山腹崩壊及び河畔林からの流木の発生に関しては、北海道立林業試験場(2004) ^{文献 28} による調査結果を使用している。
文献 15	平成11年9・15災害の発生原因について	2003年	川村宏光	平成11年 9月15日 台風16号	岐阜県北部								現地調査方法の詳細は不明。発生した流木量を森林破壊面積と破壊される前の林分状況から求めた。
文献 34	総合的な沿岸漂着物対策検討調査報告書	2003年	林野庁森林整備部	-	大井川支流 榛原川 安部川支流 藁科川								空中写真から林相図の作成及び崩壊地の位置、規模の把握を行った。また現地調査、測量により溪流の状況、溪流の立木の状況、溪流内の倒木の状況を調査した。また、数値シミュレーションにより流木発生要因に関する検討を行った。
文献 32	1998年8月栃木県余笹川災害で発生した流木の実態	2000年	南哲行ほか	1998年 8月26日からの停滞前線による豪雨	栃木県北部 余笹川								空中写真判読による崩壊地と、崩壊地周辺の植生調査により、発生流木量をもとめた。また、堆積した流木の現地調査による堆積量とあわせ、流木収支を求めた。
文献 6	熊本県一の宮町における泥流・流木の氾濫・堆積特性と家屋の被害	1992年	石川芳治 ほか	1990年 7月1～2日 集中豪雨	熊本県一の宮町 古恵川								災害前後の空中写真から針葉樹林と広葉樹林の崩壊及び浸食面積を測定し、現地調査から求めた樹木密度、幹材積に乗じて発生・流下した流木の本数、幹材積を求めた。また、泥流・流木の氾濫・堆積状況と土石流氾濫シミュレーションの比較を行った。

表 2.1 - 15(1) 流木発生事例に係る調査結果

文献番号	文献名（発行年） 著者名	流木の発生原因の分類	流木の発生状況	流木の樹種や形態	流木の堆積・捕捉の状況	その他
文献 8 文献 22	福井豪雨における森林災害 上 山腹崩壊発生原因と対策の方向について 福井豪雨における森林災害 下 流木発生原因等と対策の方向について (2006年) 鈴木昌一・今井三千穂	溪流の縦浸食に伴う溪岸崩壊 溪流の横浸食に伴う溪岸崩壊 河岸部の横浸食など 山腹崩壊	河川の河岸部および河床が洪水により浸食され、河岸崩壊などに伴い立木が流出した箇所数の割合は全体の55%を占めていた。	福井豪雨で流出した流木の樹種別堆積量の割合はスギ89%、オニグルミ5%、ケヤキ2%、ハンノキ類1%であり、河畔林、溪畔林に分布している樹種とほぼ一致していた。	本川から発生した材積の73%が流域外に流出したが、流入する溪流から発生した材積は、小溪流で狭窄部が多いこと、溪流沿いに水田が発達し、土石流や流木が堆積しやすい地形であったこと、橋梁が低いことなどの理由で、ほとんどが流域内に堆積し、流域外に流出した量は材積の9%程度であった。	6,300箇所にも及ぶ山腹崩壊が確認されたが、0.05ha以下の小規模な崩壊地が9割以上を占めるとともに、崩壊地の多くは草地等未立木地で発生していた。
文献 12	土砂流木災害の概要と教訓 愛媛県・平成16年台風災害 (2005年) 岡本敦	山腹崩壊起源 土石流の流下に伴う溪岸侵食	土石流災害の発生した中から16溪流を選んで調査した結果、全国の既往の流木災害における発生流木幹材積が多い事例と同程度の発生量があった。発生場所は、山腹崩壊起源よりも土石流の流下に伴う溪岸侵食で発生した流木量が多かった(平均で約1.6倍)。発生流木量は、地質・樹種による違いは認められなかった。	-	-	今回の一連の台風による土砂・流木災害の原因は以下の通りである。 素因：中央構造線にまつわる脆弱な地質構造と急峻な傾斜、風化、過去の崩壊・土石流等により溪床や山腹に不安定土砂が多く堆積、山裾や谷出口において住宅が分布、森林の大半(約7割)を占めるスギ・ヒノキ植林地における不十分な管理、アカマツ林の虫被害による衰退。 誘因：連続する台風による記録的な豪雨
文献 27	平成15年台風10号北海道豪雨災害調査団報告書 (2004年) 独立行政法人土木研究所 寒地土木研究所	溪流から本川・支川に流入していると想定されるパターン 山腹斜面下部の河岸段丘、崖錐、谷底低地に堆積し、その多くは本川河道・支川河道に供給されていないと想定されるパターン	額平川流域で河道まで到達した崩壊地から発生した倒木の量の約20%が下流に流出した(河岸や貯水池に堆積したものを含む)。沙流川の支川パラダイ川では、流木の多くが河床内に存在していたものの再移動が、小渓内の堆積物中の倒木であると考えられた。	厚別川流域の佐々木の沢から流出し、堆積している流木は、長さ4～15m直径5～60cmの広葉樹(ミズナラ、カエデ、ホウノキ)が多かった。多くは根がついており、幹が途中で折損していた。	ダムにおける流木堆積量は、24,000m ³ であった。	崩壊発生の要因は、最大時間降雨、地質、斜面角度の順に起因する。
文献 28	平成15年台風10号に伴う集中豪雨による流木発生等実態調査に係る報告書 (2004年) 北海道立林業試験場	山腹崩壊からの流出 河畔林からの流出 河床や河畔に堆積した古い倒木等の再移動	全流木量46,300m ³ のうち、主な供給源は山腹崩壊56.6%であり、河畔林の流出は副次的な供給源であった。	流木の樹種でみると、針葉樹が1～2割、広葉樹が8～9割を占めており、人工林(針葉樹)由来の流木が少ないことを示している。	-	河畔林が流木を捕捉している事例を多く捉えた。植栽地の有無に拘わらず崩壊が発生していることから、間伐等の森林施業が崩壊の引き金となっているわけではないと考えられた。
文献 24	台風10号による山地災害対策検討委員会報告書 (2004年) 台風10号による山地災害対策検討委員会	-	流木の発生原因は記録的な豪雨による、河川・溪流周辺の土砂崩れに起因するものと判断した。	-	治山ダム、砂防ダムの流木の捕捉量を算出した。各溪流の治山ダム全体で53～1,394m ³ の流木を捕捉した。捕捉率は約10～90%であった。 流木が大きな塊で堆積しているケースは、溪流の狭窄部に引っかかる、溪畔林に捕捉される、治山ダム上流の勾配や溪床幅の変化による堆積、治山ダム放水路に捕捉、等の例がみられた。	緊急的な対策 ・山地災害箇所の早期復旧 中長期的な対策 ・流域保全を考慮した治山、砂防施設の整備 ・防災機能の向上を図る森林整備の推進 ・地域が自ら取り組む災害に強い地域作りの推進
文献 15	平成11年9・15災害の発生原因について (2003年) 川村宏光	山地崩壊の発生に伴う立木の滑落 洪水流の発生による溪岸・溪床の浸食による立木の流出 土石流の流下に伴う壊滅的な被害による立木の流出	溪岸浸食を原因とする流出は約70%に上っていた。	流木化した立木の平均直径は20cm、平均樹長は8.5m、樹種はスギ58%、広葉樹40%となっていた。	土石流の堆積区間(堆積が顕著であった箇所)は急激に谷幅が拡大し、溪床勾配が緩くなっていた箇所と、治山ダム上流部で林縁部に流木が捕捉されていた。	幼齢人工林に多くの崩壊が発生しており、全体の約1/3の面積である15年生未満の人工林における崩壊発生の割合が、崩壊全体の約半数を占めていた。

表 2.1 - 15(2) 流木発生事例に係る調査結果

文献番号	文献名（発行年） 著者名	流木の発生原因の分類	流木の発生状況	流木の樹種や形態	流木の堆積・捕捉の状況	その他
文献 34	総合的な沿岸漂着物対策検討 調査報告書 (2003年) 林野庁森林整備部	土石流の浸食により直接的に流木が 生産される型 土石流による溪岸浸食により流木が生 産される型 溪床にある倒木・流木が流下する型	生産される流木量は、 土石流の浸食により直 接生産される流木や土石流による溪岸浸食 で生産される流木が多く 、溪床に存在する倒 木、流木の割合は少なかった。 流木が多く発生している箇所は、溪床堆積物や 崖錐が厚い箇所である。	土石流等により生産される流木の多くが長さ10m以上 であり、全体では10m以上の流木が材積の8～9割を 占める。	大井川支流榛原川では1,100m の溪流で倒流木が42本、安部川 支流藁科川では2,300mの溪流 で倒流木が175本存在していた。	流木の発生・流下抑制面からの課題は以下の 通りである。 1. 完全に防止することは困難であり、流域 一貫の総合的な対策を、自然環境の保 全に留意して行う必要がある。 2. 流木の発生抑止（森林保全、山腹工の 整備、ダム工等の整備） 3. 倒流木の再移動防止 4. 流木の捕捉（遮蔽型ダム、スリットダム、 流木止め工）
文献 32	1998年8月栃木県余笹川災害で 発生した流木の実態 (2000年) 南哲行ほか	斜面の崩壊により、立木が谷底まで押 し出されて流木化した山地崩壊型 溪岸が浸食を受けて立木が流出した 溪岸浸食型 高水敷や段丘面が冠水により浸食さ れ立木が流出した溪床浸食型	溪岸浸食型と溪床浸食型による発生量が山 腹崩壊型の約13倍と計算された。	-	橋梁、溪畔林、浅瀬に堆積	-
文献 6	熊本県一の宮町における泥流・ 流木の氾濫・堆積特性と家屋の 被害 (1992年) 石川芳治ほか	-	-	流木の流出本数と幹材積は、針葉樹で約5万1千本 及び1万2千m ³ 、広葉樹で約3万5千本及び約1千m ³ と 推定され、針葉樹(主に杉)は本数で約58%、幹材積 では約91%を占め、流木の主体は針葉樹であった。 また、溪岸浸食により発生・流下した流木は、針葉樹 が本数で全体の55%、幹材積でも53%に達してい た。	橋梁に捕捉された流木が河道を 閉塞し、あとから来た泥流と流木 が市街地に氾濫したために災害 が大きくなった。	市街地での流木(平均直径20cm)の堆積分 布は氾濫した泥流の水深20cmの範囲とほぼ 一致していた。

【参考資料】

全国の森林状況

日本の国土面積に対する森林面積を図 2.1-29に示す。国土のおよそ 2/3 に当たる 2,500 万 ha が森林であり、そのうち約 60%が私有林、約 30%が国有林である。

また、日本の森林資源の推移を図 2.1-30に示す。森林の蓄積は、森林面積の約 4 割を占める人工林を中心に毎年 8 千万 m³ ずつ増加している。

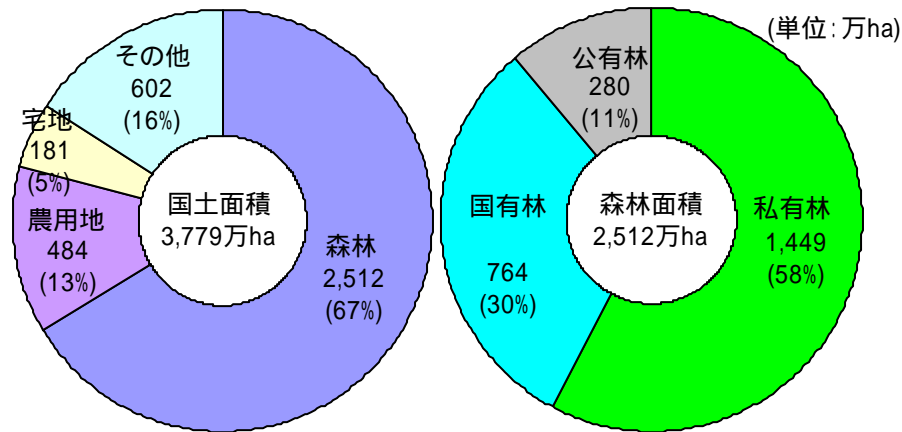


図 2.1 - 29 日本の国土面積と森林面積の割合

資料：国土地理院「全国都道府県市区町村別面積調」、林野庁業務資料

注 1：国土面積は平成 13 年 10 月 1 日現在、森林面積は、平成 14 年 3 月 31 日現在である。

注 2：計の不一致は四捨五入による。

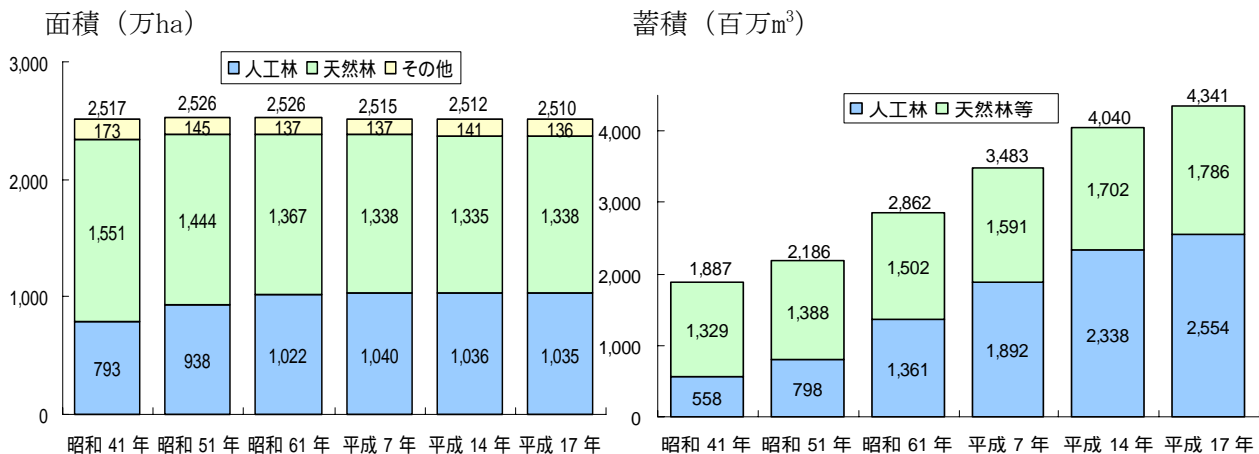


図 2.1 - 30 日本の森林資源の推移

資料：林野庁業務資料

注 1：各年とも 3 月 31 日現在の数値である。

注 2：平成 17 年の数値は一部推計を含む。

注 3：その他は伐採跡地、未立木地、岩石地、竹林等である。

注 4：計の不一致は四捨五入による。

過去の気象変動の状況

気候変動監視レポート 2004（気象庁）より、1時間降水量 50mm 以上及び 80mm 以上の発生回数を図 2.1-31に示す。

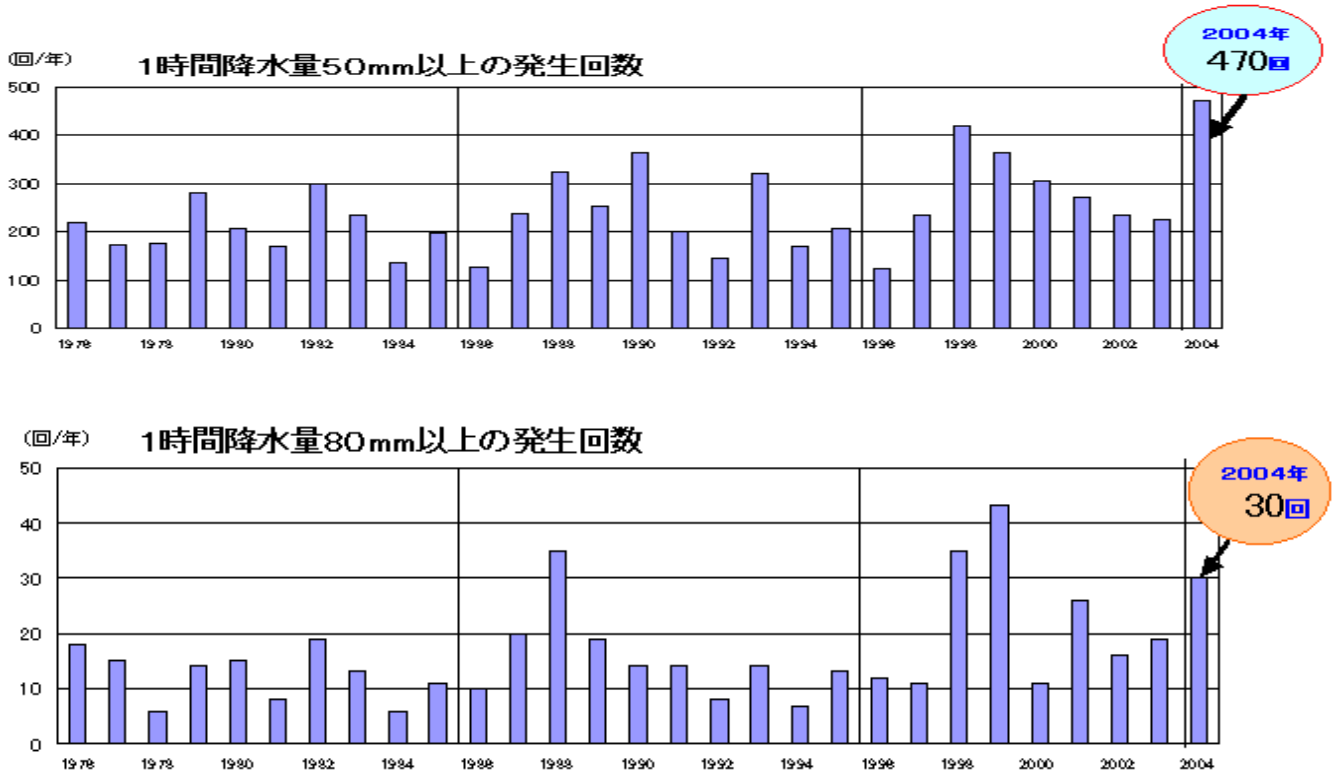


図 2.1 - 31 1時間降水量50mm以上・80mm以上の発生回数の推移

<参考文献>

- 文献 1：足立昭平、大同淳之（1957）「流木に関する実験的研究」京大防災研究所年報 第1号
- 文献 2：阿部和時、黒川潮、竹内美次（2004）「間伐が森林の持つ表層崩壊防止機能に及ぼす評価手法の開発」日本地すべり学会誌 第41巻 第3号
- 文献 3：荒木誠、阿部和時（2005）「間伐は森林の土壌を守れるか？」森林科学 No. 44
- 文献 4：石川芳治（1994）「溪流における流木の発生、流下と災害」水利科学 第38巻1（No. 216）
- 文献 5：石川芳治（2006）「V章 流木災害と森林」森林科学 No. 47
- 文献 6：石川芳治、草野慎一、福澤誠（1992）「熊本県一の宮町における泥流・流木の氾濫・堆積特性と家屋の被害」土木技術資料 Vol. 34 No. 6
- 文献 7：石川芳治、水山高久、福澤誠（1989）「土石流に伴う流木の発生及び流下機構」新砂防 Vol. 42 No. 3（164）
- 文献 8：今井三千穂、鈴木昌一（2006）「福井豪雨における森林災害—下一流木発生原因等と対策の方向について」山林 2006. 11.
- 文献 9：岩元賢、赤司信義、原田民司郎、田井中靖久（1994）「風倒木地帯の2次災害発生機構に関する研究—筑後川の流木発生と流下特性」土木学会第49回年次学術講演会講演概要集
- 文献 10：岩元賢、野田亮、大谷武、浦河欣哉（1998）「台風による風倒木の発生機構と2次災害に関する研究」西日本工業大学紀要 理工学編 第28巻
- 文献 11：太田猛彦（2004）「21世紀における日本の森林と山岳地の管理について」地学雑誌 Vol. 113 No. 2
- 文献 12：岡本敦（2005）「土砂流木災害の概要と教訓 愛媛県・平成16年台風災害」土木施工 Vol. 46 No. 6
- 文献 13：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
- 文献 14：海堀正博、石川芳治、牛山素行、久保田哲也、平松晋也、藤田正治、三好岩生、山下祐一（1999）「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
- 文献 15：川村宏光（2003）「平成11年9・15災害の発生原因について」第42回治山研究発表会論文集
- 文献 16：久保田勝（2006）「ダムによる洪水調節の現状と課題」土木学会平成18年度全国大会研究討論会 研-11 資料 ダムが有する治山機能の再評価と豪雨対策
- 文献 17：建設省砂防部砂防課（2000）「流木対策指針（案）計画編、設計編」
- 文献 18：国土交通省中部地方整備局、林野庁森林整備部、水産庁増殖推進部（2003）「平成14年度国土総合開発事業調整費 総合的な沿岸漂着物対策検討調査報告書」
- 文献 19：坂元邦夫（1990）「7月の九州の梅雨前線豪雨災害の概要」森林航測 162
- 文献 20：佐野常昭（1992）「流木防止対策について」治山
- 文献 21：芝寄茂、松本司、海原荘一、伊東統博、水山高久（2003）「2001年8月21日に和歌山県東

- の川で発生した土石流における樹林帯の土石流制御効果」砂防学会誌 Vol.56 No.1
- 文献 22：鈴木昌一、今井三千穂（2006）「福井豪雨における森林災害—上—山腹崩壊発生原因と対策の方向について」山林 2006.10.
- 文献 23：鈴木優一、渡邊康玄（2004）「沙流川での台風10号における流木の挙動」水工学論文集, 第48巻
- 文献 24：台風10号による山地災害対策検討委員会（2004）「台風10号による山地災害対策検討委員会報告書」
- 文献 25：竹下敬司（1992）「溪間における森林の土石流かん止機能とそれに立脚した防災対策について」林業技術 No.605
- 文献 26：鶴巻武人、三輪弍（2000）「中小河川の橋梁災害」農業土木学会東北支部研究発表会講演要旨集、45th
- 文献 27：独立行政法人土木研究所 寒地土木研究所（2004）「平成15年台風10号北海道豪雨災害調査団報告書」
- 文献 28：北海道立林業試験場（2004）「平成15年台風10号に伴う集中豪雨による流木発生等実態調査に係る報告書」
- 文献 29：牧孝憲、高橋正人、落秀一、三宅且仁、尾崎正明（2007）「全国のダム流木発生量調査」土木学会論文集G Vol.63 No.1
- 文献 30：水山高久（1991）「流木の発生形態と対策」102回日本林学会論文集
- 文献 31：水山高久、中野陽子、鈴木浩之（1989）「樹林の流出土砂制御効果に関する実験」新砂防 Vol.42 No.1(162)
- 文献 32：南哲行、土井康弘、小山内信智、竹崎伸司、中山康之、野中克也、増子四郎（2000）「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
- 文献 33：林野庁（2004）「平成15年度特殊荒廃地等対策調査（「土石流・流木対策の手引」策定調査）報告書」
- 文献 34：林野庁森林整備部（2003）「総合的な沿岸漂着物対策検討調査報告書」