

## 第1章 序論

### 1.1 概説

国土の約70%が山地でそのほとんどが森林に覆われている日本では、一旦山腹崩壊が起こると多くの流木が発生する。また溪岸崩壊・侵食、あるいは過去に発生した倒流木の流出などにより発生することも多い。これらの流木が大量に流下し、人々の生活圏に到達すると多くの災害を引き起こす。1999年6月の広島災害では、大量の流木が直接民家を襲い、多くの人的被害をもたらした。1998年8月の栃木県余笹川災害では、やはり大量の流木が橋梁に堆積し、流失被害を引き起こした。過去にも土砂災害が発生すると同時に流木も大量に発生し、その被害に拍車をかけている。このような流木災害を防止・軽減するためには、その発生原因、流下形態、堆積場所などを把握することが重要であるが、この分野の研究は少なく未解明な点が多い。一方、土石流、土砂の流出・堆積問題についてはこれまで多くの研究者によって手がけられ、その結果、ミクロな部分で未解明な点はあるものの、マクロ的には土砂の移動を予測した河川構造物の設計など、完全とは言えないまでも実用に耐えうる推定方法が確立されている。土砂の移動は掃流・浮遊、あるいは土石流のような集合体として考えられ、それぞれの流下形態を分類して研究が行われている。流木の場合も同様な手法が必要であろう。もちろん土砂の研究がそのまま流木に適用できるわけではない。流木が土砂と大きく異なるのは、その物理的特性であろう。形状・比重が土砂と大きく異なり、その運動のモデル化は、移動物質が水・土砂に加えて木が加わりいっそう複雑になる。流木の特に運動機構に関する研究例が少ない原因の一つであろう。

流木が発生し、流下する過程で停止（堆積）したり、再び流下（再移動）することを繰り返しながら、海まで到達する概念図を図1.1に示す。全てが海に達するわけではなく、途中堆積して朽ち果てるまでその場に留まる場合や、人間の手によりその場から除去される場合もある。山腹崩壊や土石流などに伴い発生する流木が大量に下流域の生活圏に到達すると、様々な問題を引き起こす。貯水ダムに堆積すればダム機能の低下、景観を損壊するなどの被害を招き、その撤去費用は管理者及び受益者に経済的負担を強いる。大量の流木が自然河道途中に堆積し天然ダムを形成すると、ダム決壊による洪水など下流側住民を危険にさらすことになる。橋梁・カルバートなど河川横断構造物に到達すると流下断面を閉塞し、洪水や土砂・流木そのものの氾濫を招き、構造物を破壊するなど被害を拡大さ

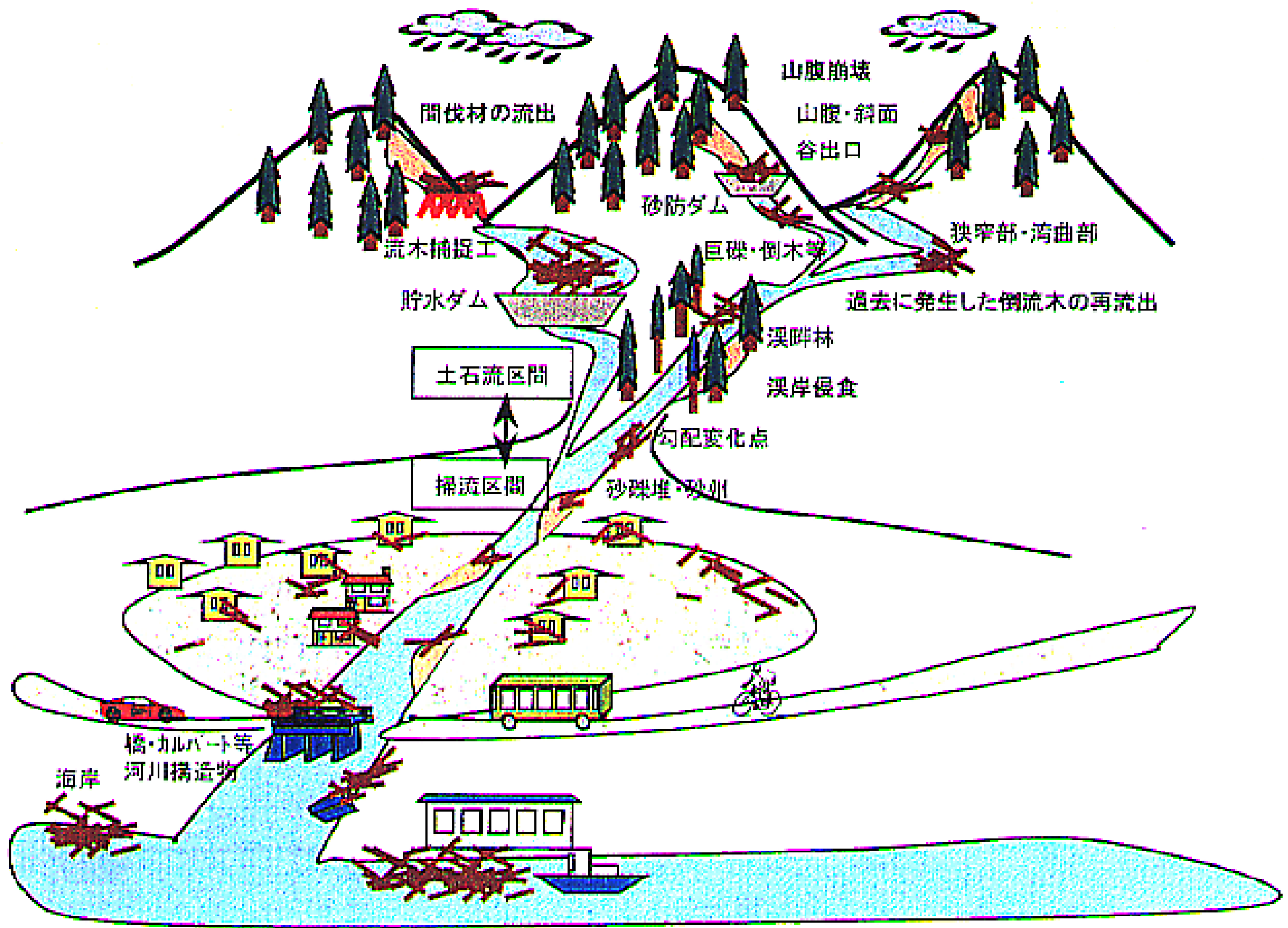


図 1.1 流木の発生及び堆積場所概念図



(a) 流木の氾濫



(b) 家屋を襲った流木

写真 1.1 流木による災害  
(広島県広島市小深川)

せる。流木が扇状地に氾濫し、直接民家を襲った例もあり、その破壊力は大きい（写真 1.1）。海まで流出して港湾事業、漁業、観光産業に対する被害も引き起こす。

一旦発生し、流下途中で堆積した流木についても検討することが必要である。橋梁など人工構造物で堆積した場合は、その管理上の問題もありすぐに撤去されることが多いが、河川内に堆積しそのまま放置されている例も多い。河道中に集積すれば流木上流側に土砂が溜まり<sup>2)</sup>、河道の疎通能力を阻害する原因となる。観光地においてはその景観についても問題となる。河川に残留する流木が魚類・水棲昆虫類の住処になり、その生態系に与える影響が注目されている<sup>3)</sup>が、増水により流出する危険性があり、堆積した流木が再び移動を開始する機構を知っておくことが必要であろう。

流木の発生場所とその原因・形態は、以下のように表される（表 1.1）。

表 1.1 流木の発生場所とその原因・形態

発生場所	発生原因と形態
山腹	<ul style="list-style-type: none"> <li>・山腹崩壊による立木の流出</li> <li>・土石流の発生に伴う立木の流出</li> <li>・強風・病虫害などによる倒木の流出</li> <li>・伐木・間伐材などの流出</li> <li>・椎茸原木等の流出</li> </ul>
溪岸	<ul style="list-style-type: none"> <li>・溪岸崩壊に伴う立木の流出</li> <li>・土石流の流下に伴う侵食による立木の流出</li> <li>・洪水の流下に伴う侵食による立木の流出</li> <li>・強風・病虫害・過去の侵食などによる倒木の流出</li> <li>・集積された木材の流出</li> </ul>
溪床	<ul style="list-style-type: none"> <li>・土石流・洪水等により過去に流出・堆積した流木の再流出</li> </ul>
その他	<ul style="list-style-type: none"> <li>・土石流・洪水等による家屋破損材の流出</li> <li>・土石流・洪水等による木橋・電柱等の流出</li> </ul>

この他流下形態に着目すると、土石流に運ばれて流下する場合と、洪水流に浮遊して流下する場合に分類できる。また流木を発生起源別に見ると、立木の流出、過去に発生した倒流木の流出、伐木・原木の流出、用材の流出に分類できる<sup>4)</sup>。流木問題に取り組むにあたり、災害現象に見合った分類を行い、対象となる流木の発生原因を明確にすることが重要である。

## 1. 2 従来の研究と本研究の目的

従来の流木に関する主な研究は、以下の4つに分類できる。

- 1) 流木による橋の流下断面閉塞に関する研究
- 2) 流木対策工に関する研究
- 3) 流木の運動機構に関する研究
- 4) 流木の有益性に関する研究

流木による災害が身近な場所ではっきりと目に見える形で現れるのが、橋梁へ堆積することによる被害であろう。足立・大同<sup>7)</sup>は、1953年の和歌山県有田川災害、同年北九州における大水害の資料を基に、浮遊して流下する流木が河川を横断する橋梁に到達したときの閉塞実験を行っており、これが日本で流木災害に関する最初の本格的な研究の一つである。彼らは投入する流木密度、その閉塞に至る時間の関係及び流下断面を閉塞したときの水位堰上げについて実験を行い、閉塞条件として浮遊流木面積と水面面積の比、橋脚スパン間隔と流木長や流木の流下速度が関係することを指摘した。米元も同様の実験を行っており<sup>8)</sup>、これらの研究成果は現在の河川管理施設等構造令に反映されている。しかし発令前に建造された橋梁も数多く現存しその機能を果たしており、改築するにも用地問題などが絡み、流木災害の危険性を孕む橋梁は今現在も数多い。

流木が人々の生活圏に到達する前に上流域で捕捉するための対策工に関する研究も多く行われている。対策工としては主に流木の流下途中に柵を設け、流木の細長い形状を利用して引っかけて捕捉する、というのが一般的である。佐々木<sup>9)</sup>は流木の流下速度が遅くなる砂防ダムを利用して捕捉することを考え、捕捉網の設置について実験的研究を行った。水原<sup>10)・13)</sup>、水原ら<sup>14)・16)</sup>は流木の運動機構を理論的・実験的に追求し、ダム貯水域での浮遊挙動とその流下を阻止するための研究を数多く手がけ、今日の流木対策に関する基礎をつくった。流木の発生原因として多いものの一つが、土石流の発生に伴うものである。瀬尾ら<sup>17)</sup>は土石流と共に発生した流木災害現地調査資料を基に水路実験を行い、砂防ダム上流下流地域において最も流木の流下速度が遅くなる地点を測定した。その結果砂防ダム本体を通過し副ダムに到達する前の水叩き内で流木が減速することを見だし、流木捕捉工の設計に副ダムを利用することを提案した。こうした流木対策に関わる研究は、石川ら<sup>18)</sup>によって継続され、今日の流木対策工設計に反映されている。また最近は、本来土石流の捕

捉を目的とした透過型砂防ダムによる流木捕捉の実態も報告され<sup>19)</sup>、これら人工構造物の持つ流木捕捉能力も徐々に明らかになりつつある。今後は、これまで設置された流木対策工及び砂防ダムの流木捕捉効果に関する検証も重要な研究分野である。

流木の流下運動を物理的に解明しようとした研究もある。洪水流などの水に浮遊して流下する流木について、中川らが水と流木の運動方程式をそれぞれ用い、実験により不明な係数を決定してシミュレーションを行っている<sup>20)・22)</sup>。その結果流木の偏走角と水との相対速度の関係、流木群の堰き止めによる水位上昇が再現できており、貯水ダムなどにおける流木の対策に利用できるものと思われる。

一方溪流に堆積する倒流木の生態系に与える影響を評価した研究は、近年特に多い。阿部ら<sup>23)</sup>は倒流木による生態系の保全、魚類・水中生物の生息地としての評価、水質の改善に及ぼす影響など、倒流木の持つ長所に目を向けている。F. D. Shields Jr.<sup>23)</sup>らは河川内に堆積する流木の生態系への影響を評価し、災害を及ぼす流木の除去に制限を設けることを提案した。Bilby<sup>24)</sup>も流木を除去することによる河川環境の激変について考察し、流木を考慮した河川整備のあり方について述べている。R. D. Smith<sup>25)</sup>らは流木を除去した後4年間にわたって河川地形の変化を観測し、影響の度合いを詳細に報告している。水理学的な目で流木を見たのがC.J.Gippel<sup>26)</sup>であり、河床に堆積する流木の移動に関する要因を研究した。

その一方流木の実態を把握する努力も行われており、特に1990年10月に「流木対策指針(案)」が作成されて、その調査方法がマニュアル化されたことにより徐々に資料が蓄積されている。しかし災害復旧を急ぐため集積した流木は速やかに撤去されることが多いこともあり、また調査件数が少なく満足な資料が得られているとは言い難い。このような状況の中、水山らによってまとめられた一連の研究<sup>27)</sup>は対策指針(案)の基になり、現在利用されている。

これまでの流木流下・堆積の理論的研究は、水に浮遊して流下する流木を対象にしたものがほとんどであり、土石流に取り込まれて流下する運動などは、その複雑さのため実験・現地の実態調査による方法が一般的である。流木に関する研究は土砂災害などの分野に比較してまだその数が少なく、さらなる実態の解明とそのモデル化が今後のより精度の高い対策計画に必要である。

以上の点を踏まえ本研究では、自然河道及び不透過型砂防ダムにおける流木の堆積と再

移動の機構を明らかにし、流木災害の防止・軽減に役立てることを目的とする。

### 1. 3 流木の定義

砂防・河川・林業・生態など多岐にわたる分野で「流木」という言葉が使われているが、それぞれ異なった解釈をしているように思える。例えば溪畔林研究会で用いている「アメリカ国オレゴン州ウィラミテ国有林における水辺のガイドライン」<sup>5)</sup>の中で定義された「倒流木」という用語がある。これは大型倒流木 (Large Woody Debris) (直径 50 cm、長さ 10 m より大きいもの)、小型倒流木 (Small Woody Debris) (直径 10 cm、長さ 1 m より大きく直径 50 cm、長さ 1 m より小さいもの)、微細倒流木 (Fine Woody Debris) (直径 10 cm、長さ 1 m より小さな小型の枝・小枝・伐採作業によって出た残材) に分類しており、樹幹と大枝とからなる木本の遺骸、としている。

これに対し流木災害を念頭に作成された「流木対策指針 (案)」においては、「土砂とともに流出する流木とは砂防計画、もしくは土石流対策計画基準点に流出する恐れのある立木、倒木、伐木、流木をいう。」となっている。すなわち流木の発生は土砂の発生と同時に起こるものであり、土石流対策技術指針 (案)<sup>6)</sup>の補足版とでもいうべき考え方からなっている。

本論文は流木を災害の対象の観点から見ており、大きさとして長さ 1 m 以上かつ直径 5 cm 以上のものを目安とし、過去に樹立していた場所から一度でも移動したことのあるもの、木製の橋・堰・家屋建材などが流出したものを指し、伐木も含めて流木と呼ぶことにする。

### 引用文献

- 1) 丸谷知己、笠井美青 (1995) : 土砂滞留に伴う流木群強度の位置的变化、新砂防 Vol.47, No.6 (197), pp. 3-7
- 2) 宮縁育夫、清水晃、小川泰浩、清水貴範 (1999) : 風倒木発生から約 3 年後における山地河川の実態、砂防学会研究発表会概要集、砂防学会、pp. 280-281

- 3) 阿部俊夫、中村太士 (1996): 北海道北部の緩勾配小河川における倒流木による淵およびカバの形成、日林誌 78(1), pp. 36-42
- 4) 建設省砂防課 (1990): 流木対策指針 (案)、流木対策検討会、15 pp.
- 5) 溪畔林研究会 (1997): 水辺林の保全と再生に向けて、日本林業調査会、218 pp.
- 6) 建設省河川局砂防部砂防課 (1988): 土石流対策技術指針 (案)、47 pp.
- 7) 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、pp. 41-49
- 8) 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
- 9) 佐々木八郎 (1962): 砂防ダム付近における流木阻止に関する実験的研究、信州大学工学部紀要第13号、pp. 59-89
- 10) 水原邦夫 (1973): 流木の運動機構に関する研究 (I)、新砂防 88、pp. 17-25
- 11) 水原邦夫 (1974): 流木の運動機構に関する研究 (II)、新砂防 93、pp. 6-12
- 12) 水原邦夫 (1975): 砂防ダムと流木 (I)、新砂防 97、pp. 17-24
- 13) 水原邦夫 (1976): 砂防ダムと流木 (II)、新砂防 98、pp. 17-23
- 14) 水原邦夫、南哲行、武居有恒 (1979): 流木の流下阻止に関する基礎的研究 (I)、新砂防 113、pp. 10-16
- 15) 水原邦夫、武居有恒、南哲行 (1980): 流木の流下阻止に関する基礎的研究 (II)、新砂防 114、pp. 9-16
- 16) 水原邦夫、武居有恒 (1980): 流木の流下阻止に関する基礎的研究 (III)、新砂防 115、pp. 1-8
- 17) 瀬尾克美、水山高久、大場章、上原信司 (1984): 土石流と共に流出する流木の運動と捕捉工に関する実験的研究、土木技術資料 26-2, pp. 69-73
- 18) 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, pp. 4-10
- 19) 尾崎幸忠、鴨川義宣、水山高久、葛西俊一郎、嶋丈示 (1998): 流木が混入した土石流の鋼製透過型ダムによる捕捉形態の調査、砂防学会誌 Vol.51, No.2, pp. 39-44
- 20) 中川一、高橋保、池口正晃 (1992): 流木群の流動に関する研究、京都大学防災研究所年報 第35号 B-2, pp. 249-266
- 21) 中川一、井上和也、池口正晃、坪野孝樹 (1993): 流木群に関する研究 (2)、京都

- 大学防災研究所年報 第 36 号 B-2, pp. 487-498
- 22) 中川一、井上和也、池口正晃 (1994): 流木群の流動に関する研究 (3)、京都大学  
防災研究所年報 第 37 号 B-2, pp. 459-473
- 23) Fletcher Douglas Shields Jr., A.M.ASCE and Nelson R. Nunnally (1984):  
ENVIRONMENTAL ASPECTS OF CLEARING AND SNAGGING, Proceedings of  
ASCE, Journal of Environmental Engineering, 110(1), pp. 152-165
- 24) Robert E. Bilby (1984): REMOVAL OF WOODY DEBRIS MAY AFFECT STREAM  
CHANNEL STABILITY, Journal of Forestry, 80, pp. 609-613
- 25) R.D.Smith, R.C.Sidle, P.E.Porter, J.R.Noel (1993): EFFECTS OF EXPERIMENTAL  
REMOVAL OF WOODY DEBRIS ON THE CHANNEL MORPHOLOGY OF A  
FOREST, GRAVEL-BED STREAM, Journal of Hydrology, 152, pp. 153-178
- 26) Christopher J. Gippel (1995): ENVIRONMENTAL HYDRAULICS OF LARGE  
WOODY DEBRIS IN STREAMS AND RIVERS, Proceedings of ASCE, Journal of  
Environmental Engineering, 121, pp. 388-395
- 27) 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-3, pp. 71-156