

ダム貯水池流木対策の手引き（案）

平成 30 年 3 月

国土交通省 水管理・国土保全局 河川環境課

まえがき

ダムは、流木を捕捉することにより、下流河川における洪水被害の拡大を未然に防止する効果を有しているが、ダム貯水池に流入する流木は放流設備の損傷や閉塞の要因となり、洪水調節等のダム管理に影響を及ぼす可能性を有している。

上記のようなダム管理へのリスクを軽減するため、ダム管理者はダム貯水池に流木止設備を設け、流入する流木が堤体近傍まで流下することを防止するとともに、貯水池に流入した流木・塵芥等の処分を行っている。特に近年は、大型化する台風や頻発する局地的な豪雨により、平常時を大きく上回る大量の流木が貯水池に流入する事例が増加していることから、ダム管理へのリスクは増大しており、流木対策の重要性が高まってきている。

一方で、ダム貯水池へ流入する流木の対策については、その都度現場ごとで対応しているのが現状であり、検討の基本条件となるダム貯水池への流入流木量についてもその推定方法は明らかにされていない。

本手引きは、上記の背景と既往事例を踏まえ、流木対策を検討するうえでの基本条件となる流木量の推定方法を解説するとともに、流木の捕捉、回収・陸揚げ・集積（仮置き）・処理の各工程において必要とされる基本事項を記載するとともに、新たな知見の蓄積を目的としたモニタリング調査方法を記載したものである。

本手引きの記載事項を参考に、ダム貯水池における流木対策の取組み等を進めつつ、今後のより一層の的確かつ効率的な流木対策が図れることを期待する。

なお、本手引きは、作成時点における技術的知見に基づいて作成しているものであることから、ダム貯水池における流木に関する今後の調査を通じて新たな知見を蓄積し、必要に応じて改定していくことが望まれる。

また、巻末資料として、本手引きの内容を補足する資料や付属的な資料をとりまとめている。

「ダム貯水池の流木対策等に関する検討会」名簿

(順不同、敬称略)

座 長	角 哲也	(京都大学 防災研究所 水資源環境研究センター 教授)
委 員	石川 芳治	(東京農工大学 名誉教授)
〃	小森 大輔	(東北大学大学院 環境科学研究科 准教授)
〃	手計 太一	(富山県立大学 工学部 環境工学科 准教授)
〃	石神 孝之	(国立研究開発法人土木研究所 水工研究グループ 水理チーム 上席研究員)
〃	石井 靖雄	(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 上席研究員)
〃	金銅 将史	(国土交通省 国土技術政策総合研究所 河川研究部 大規模河川構造物研究室長)
〃	丸山 準	(国土交通省 水管理・国土保全局 河川環境課 流水管理室長)
〃	豊口 佳之	(国土交通省 水管理・国土保全局 治水課 事業監理室長)
〃	舩田 直樹	(国土交通省 水管理・国土保全局 治水課 企画専門官)
〃	宇根 寛	(国土交通省 水管理・国土保全局 砂防部 保全課 総合土砂企画官)
〃	平井 康幸	(国土交通省 北海道開発局 建設部 河川管理課長)
〃	高橋 孝男	(国土交通省 東北地方整備局 河川部 河川保全管理官)
〃	井上 達裕	(国土交通省 近畿地方整備局 河川部 河川保全管理官)
〃	山本 佳久	(国土交通省 九州地方整備局 河川部 河川保全管理官)

※平成 30 年 2 月時点

目 次

1. 総説	1
1.1 本手引きの目的	1
1.2 適用範囲	3
1.3 位置付け	4
1.4 用語の定義	5
1.5 流木対策の全体構成	6
2. 流木量の推定	10
2.1 流木量の区分と推定	10
2.2 通年規模の流木量の推定	12
2.3 大規模洪水における流木量の推定	21
3. 流木の捕捉	23
4. 流木の回収・陸揚げ	29
5. 流木の集積	35
5.1 流木の仮置き	35
5.2 ダム貯水池流入流木量の測定	36
6. 流木処理	38
7. 流木のモニタリング調査	46
《巻末資料》	51
1. ダム貯水池流入流木大量発生時の対応事例	
2. 流木が要因となったダム施設の被災事例	
3. 網場の効果的な配置・運用事例	
4. ダム貯水池流入流木の有効活用事例及び最新の技術動向	
5. ダム貯水池流入流木に関連する法令等	
6. ダムによる流木捕捉効果の定量的把握手法	
7. 関連資料の抜粋	

本書の構成

目次構成

本書は、7つの章により構成している。

1. 総説

流木対策を実施する際の基本的な考え方、本書の適用範囲、河川砂防技術基準との関係や使用する用語の定義について解説を記載している。

2. 流木量の推定

流木対策を検討する際の基本条件となる流木量の推定方法について解説を記載している。

3. 流木の捕捉

流木止設備として網場を配置しているダムを対象とし、網場の効果的な配置や運用方法について、事例を交えながら解説を記載している。

4. 流木の回収及び陸揚げ

ダム貯水池に滞留する流木の回収及び陸揚げ方法について、事例を交えながら解説を記載している。

5. 流木の集積

ダム貯水池から陸揚げした流木の仮置きヤードの考え方や集積した流木量の測定方法について解説を記載している。

6. 流木の処理

集積した流木の処理を行うにあたっての基本的な考え方、流木の有効活用方法等について、事例を交えながら解説を記載している。

7. 流木のモニタリング調査

発生源も含めたより効果的な流木対策を検討するために必要となる知見の蓄積を目的とし、集積した流木を対象として実施するモニタリング調査方法について解説を記載している。

各章の構成

本書の各章における構成を以下に示す。

 （箱書き）

ダム貯水池流木対策を検討するうえで、基本となる事項を記載している。

【解 説】

箱書きに記載した事項の背景となる考え方や具体的な実施事項等について、解説を記載している。

【事 例】

箱書き、解説に記載した事項に関連するケーススタディや、参考となる事例について記載している。

【関連する法令】

箱書き、解説に記載した事項に関連する法令について、記載している。

【参考文献】

箱書き、解説に記載した事項に関連する参考文献として、公表されている学術論文等について、記載している。

なお、【解説】では、特に重要な部分を_____（下線）で強調している。

1. 総説

1.1 本手引きの目的

本手引きは、的確かつ効率的な貯水池流木対策を実施することを目的とし、流木対策の一連の工程において、各工程の検討に必要な基本事項と検討の基本条件となる流木量の推定方法を示すものである。

【解 説】

近年、台風の大型化や局地的な豪雨が頻発する傾向にあり、豪雨を起因とする流木災害が各地で発生している。ダムにおいても、貯水池に大量の流木が流入する事例が増えており、最近の例では、平成 15 年 8 月台風 10 号発生時の二風谷ダム、平成 26 年 9 月豪雨発生時の漁川ダム、平成 27 年関東・東北豪雨発生時の五十里ダム、平成 29 年 7 月九州北部豪雨発生時の寺内ダムの事例などが挙げられる。

ダムは、洪水調節を実施し、下流河川における洪水被害の回避・低減を図っているほか、貯水池に流入する流木を捕捉することにより下流河川への流木流出を防止し、橋梁等に流木が捕捉され、河道が閉塞することによる水位上昇などの洪水被害拡大を防止している。流水管理だけでなく、流木捕捉の観点からも、洪水被害の拡大防止に貢献しているといえる。一方で、大量の流木が貯水池に流入することにより、ダム施設が損傷するリスク等が問題となっている。特に、流木による放流設備の閉塞や損傷は、ダムの洪水調節機能の低下につながるなど、深刻な影響につながる考えられる。写真 1.1 は、その事例として、平成 15 年 8 月の二風谷ダムにおける流木の発生状況を示したものである。この例では、網場が切断されたことにより、大量の流木がダム堤体まで流下し、一部の流木は放流設備を通じて下流河川に流出している。緊急的な措置により流木を短期間で除去したため、放流設備の損傷や閉塞による被害は報告されていないが、このような事象も想定し、的確かつ効率的な貯水池流木対策を実施していくことが重要である。



写真 1.1 平成 15 年 8 月の二風谷ダムにおける流木発生状況

ダム貯水池における流木の対策工程は、流木の捕捉、回収・陸揚げ、集積（仮置き）、流木処理に区分されるが、上記を背景とした効果的な流木対策を展開していくためには、対策の対象とする流木量を各ダムで推定するとともに、工程ごとに適切な対策を検討する必要がある。また、異常洪水時には通常規模の数十倍に相当する流木が発生する事例も報告されており、非常時の対策として平常時とは区別した対策も検討しておく必要がある。

本手引きでは、ダム貯水池における流木の捕捉、回収・陸揚げ、集積（仮置き）、流木処理の一連の工程において、ダム管理者が流木対策を検討していくうえでの基本となる考え方をとりまとめたものである。なお、本手引きの内容に含んでいないが、流木の発生源に関する対策も必要であり、ダム上流域の関係機関と連携することが重要である。

1.2 適用範囲

本手引きは、河川管理施設である国土交通省所管ダムに適用する。

【解 説】

本手引きは、河川法第 3 条に規定する河川管理施設であるダム（同法第 17 条に規定する兼用工作物であるダム、特定多目的ダム法第 2 条に規定する多目的ダム及び独立行政法人水資源機構法第 2 条に規定する特定施設である多目的ダムを含む）の流木対策に適用するものであり、計画段階のダムも含む。

1.3 位置付け

本手引きは、ダム貯水池流入流木に対し、ダム管理者が行う流木の捕捉から処理（有効活用含む）までの一連の工程について、工程ごとの基本事項を体系的にとりまとめたものである。

【解 説】

ダム貯水池における流木対策については、「河川砂防技術基準 維持管理編（ダム編）」において、「第 2 章 第 4 節 貯水池の維持管理対策 4.4 流木対策」として記載されている。本手引きはこの河川砂防技術基準の参考資料として、ダム管理者が実施する流木対策の各工程について詳述するものである。

なお、本手引きの記載内容に含んでいないが、流木の発生源に関する対策も必要であり、ダム上流域の関係機関と連携することが重要である。

1.4 用語の定義

本手引きで使用する用語について、以下のとおり定義する。

- ・ダム貯水池流入流木..... ダム流域内で発生し、貯水池に流入する流木。
- ・通年規模の流木量 大規模洪水が発生しない年に貯水池に流入する流木量。
- ・大規模洪水における流木量..... 大規模洪水の発生に伴い、単一洪水で貯水池に流入しうる最大規模の流木量。
- ・流木対策 ダム貯水池流入流木に対する捕捉、回収、陸揚げ、集積（仮置き）、流木処理の総称。
- ・流木モニタリング調査..... 新たな知見蓄積を目的とし、ダム貯水池で回収した流木に対して実施する調査。

【解 説】

本手引きで使用する用語の定義は、上記のとおりである。なお、以下の用語は、砂防分野で用いられる用語との違いがわかるように解説したものである。

(1) ダム貯水池流入流木

ダム上流域で発生した流木のうち、主に洪水時に流下し、ダム貯水池湖面及び湖岸に流入したものとする。この流木の空隙を含む体積を「ダム貯水池流入流木量」という。なお、ダム貯水池に到達しない流木は対象外とする。

(2) 通年規模の流木量

ダム貯水池流入流木量のうち、計画規模に相当する洪水や、計画規模を上回る洪水が発生しない年に1年間に貯水池内へ流入する流木量であり、平常時の流木対策を検討する際に指標とするものである。

(3) 大規模洪水における流木量

ダム貯水池流入流木量のうち、計画規模に相当する洪水や、計画規模を上回る洪水に伴い、単一の洪水でダム貯水池に流入し得る最大規模の流木量であり、非常時の流木対策を検討する際に指標とするものである。

(4) 流木対策

ダム貯水池に流入した流木に対する対策を示すものであり、流木発生抑制工などの流木の発生源における対策とは区分している。

(5) 流木モニタリング調査

流木量の推定等に関する新たな知見の蓄積を目的とし、ダム貯水池で回収し、陸上で集積した流木に対して実施するものであり、流木量の測定や、流木の発生源に対する調査を含む。

1.5 流木対策の全体構成

流木対策は、「捕捉」、「回収」、「陸揚げ」、「集積」、「流木処理」の各工程で構成される。流木対策にあたっては、対象とする流木量を推定したうえで、各工程で適切な作業を実施する。

【解 説】

ダム貯水池流木対策は、貯水池における流木の捕捉から、回収・陸揚げ、集積（仮置き）、流木処理に至る一連の工程で構成される。本手引きにおける各作業の内容は以下のとおりであり、これらに加え、「集積」の段階では仮置きした流木を対象としてモニタリング調査を実施する。

「捕 捉」：貯水池に流入した流木を貯水池内で流木止施設により捉えること

「回 収」：捕捉した流木を、湖岸やダム天端等の陸揚げ箇所まで水上運搬する作業

「陸 揚 げ」：湖面で回収した流木を引き揚げ、陸上の集積予定地への運搬機械等に積載し、運搬する作業

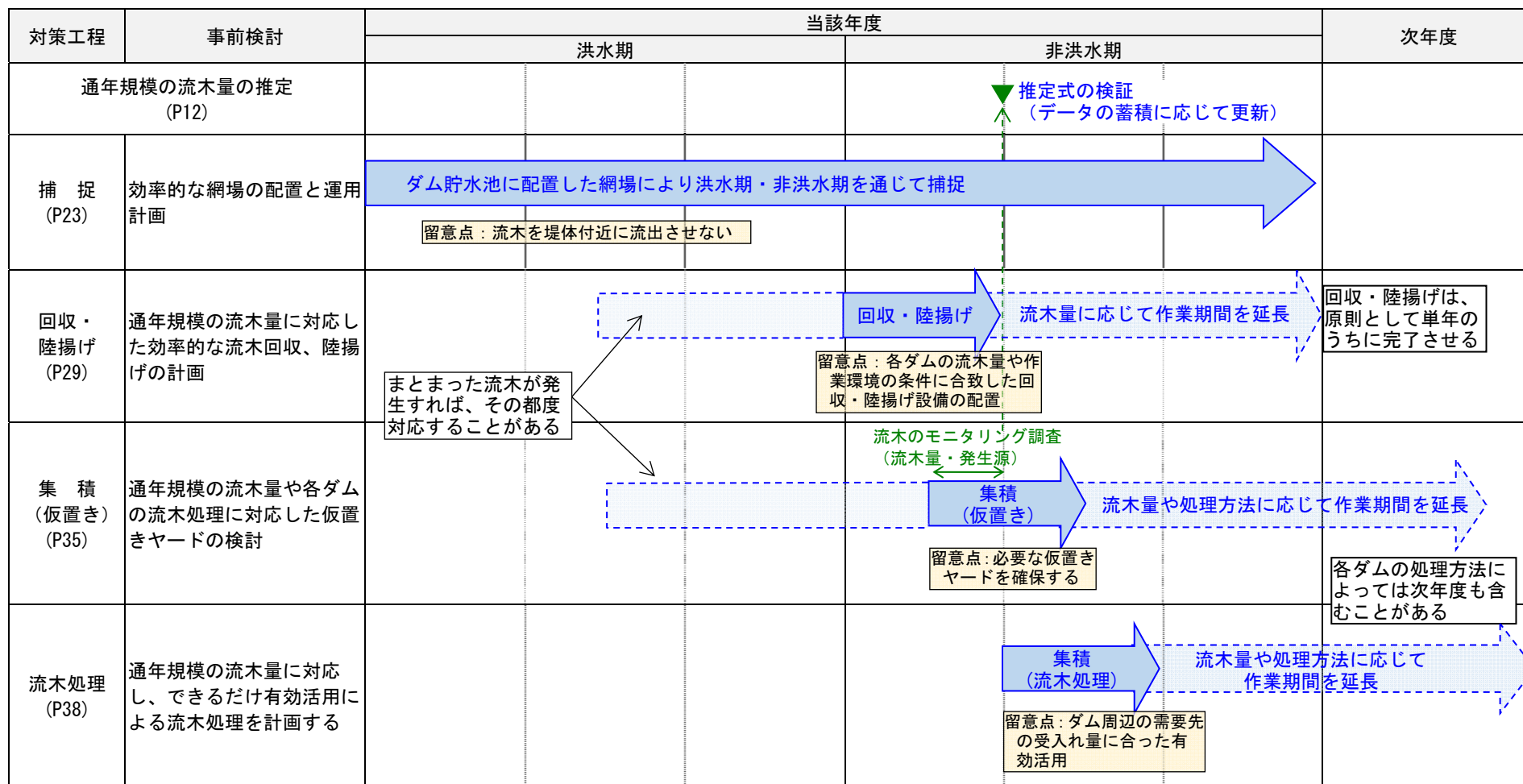
「集 積」：陸揚げした流木を、陸上の仮置きヤード等を集める作業（仮置きを含む）

「流木処理」：集積（仮置き）した流木に対して行う処理作業を示すものであり、分別・破碎・選別等の前処理や、最終的な処分方法となる廃棄物処理、有効活用を含めた総称

流木量の推定や、モニタリング調査を含めた流木対策の全体構成を図 1.1 に示す。流木対策は、モニタリング調査による知見の蓄積を踏まえ、必要に応じて見直しを行い、改善していくことが望ましい。

なお、流木対策の各作業の工程は、通年規模の流木量に対するものと、大規模洪水における流木量に対するものとで大きく異なる。双方に対する作業工程の代表的な例を図 1.2、図 1.3 に示す。

【「通年規模の流木量」に対する流木対策工程例】

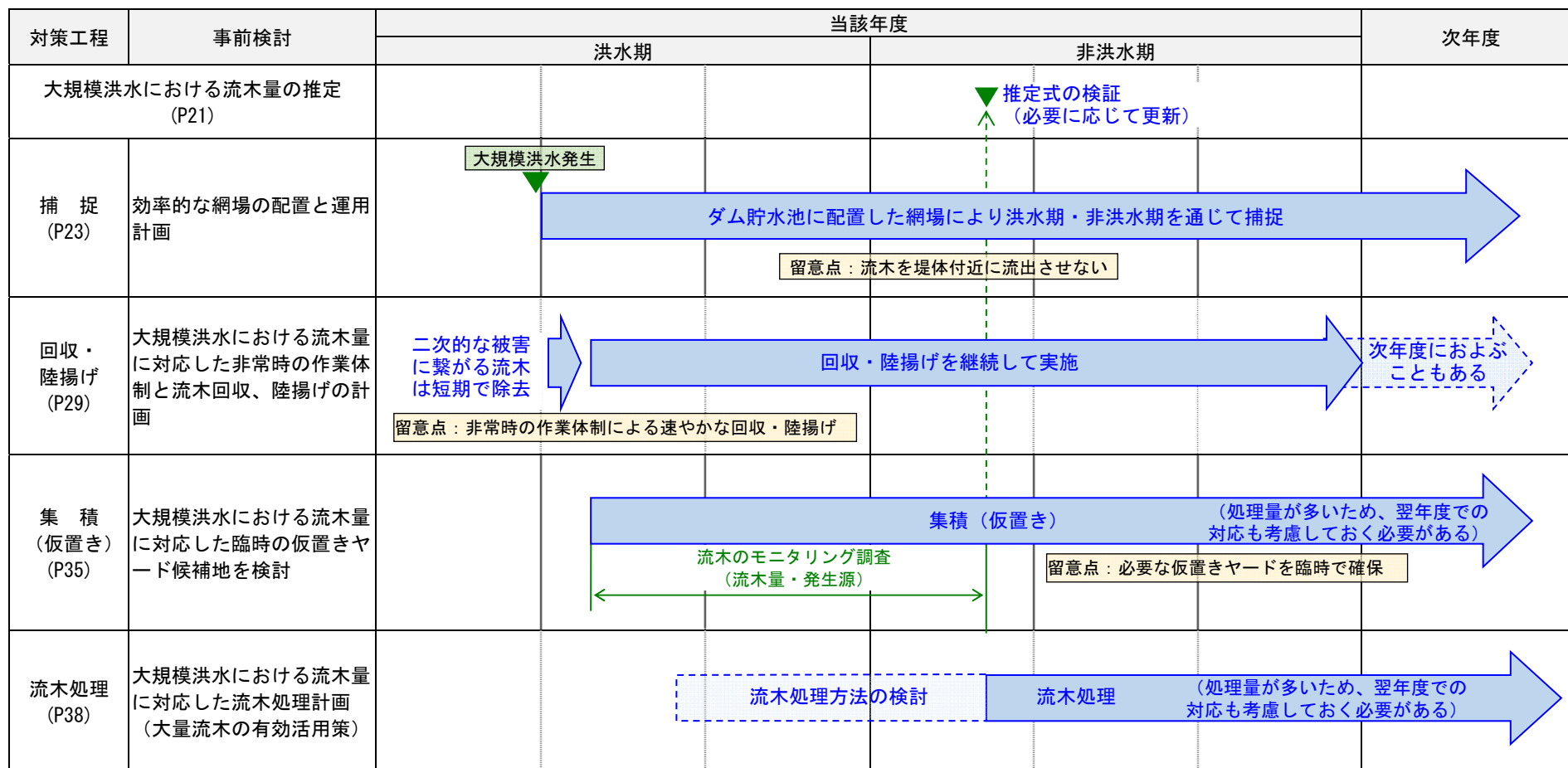


※ (P) は本手引きのページを示している。

※通年規模の流木量の推定方法は、流木のモニタリング調査によるデータの蓄積に応じて適宜検証し、必要に応じて見直していくものとする。

図 1.2 「通年規模の流木量」に対する工程の一般的な例

【「大規模洪水における流木量」に対する流木対策工程例】



※（P ）は本手引きのページを示している。

※大規模洪水における流木量は、全国のダムから集めた平均的な流木量を大きく上回る実績値を基に、その推定式を作成している。このため、大量の流木が発生した際には、測定された流木量と推定式を比較し、必要に応じて推定式を更新していくものとする。

図 1.3 「大規模洪水における流木量」に対する工程の一般的な例

2. 流木量の推定

2.1 流木量の区分と推定

ダム貯水池流入流木量は、平常時の流木対策の対象とする流木量「通年規模の流木量」と、異常洪水に伴う発生が想定される「大規模洪水における流木量」の2つに区分して推定するものとする。

【解 説】

(1) 流木量の区分

ダム貯水池流入流木量は、毎年各ダムで測定され、その記録が管理されているが、これまでに全国のダムで蓄積された実績値のなかには、計画規模を超える洪水の発生に伴い、平均的な年を大きく上回る異常値が散見される。図 2.1 は、その代表的な例として、矢作ダムにおける流木量と年最大流入量の関係を示したものである。矢作ダムでは、平成 12 年 9 月に観測史上最大の記録的な豪雨（東海豪雨）が誘因となって、流域内に斜面崩壊が多発したことなどにより、平均的な年の 80 倍に相当する約 35,000m³の流木が流入したとされている。本手引きの作成時点では、計画高水流量付近の大規模洪水に伴う流木量の実績が少なく、このような異常値と平均的な流木量を関連付けることは難しいが、大雨や短時間強雨の発生頻度が増加しているなどの近年の傾向を考慮すると、ダム管理者はこのような事象に対する対策を検討しておくことも必要である。

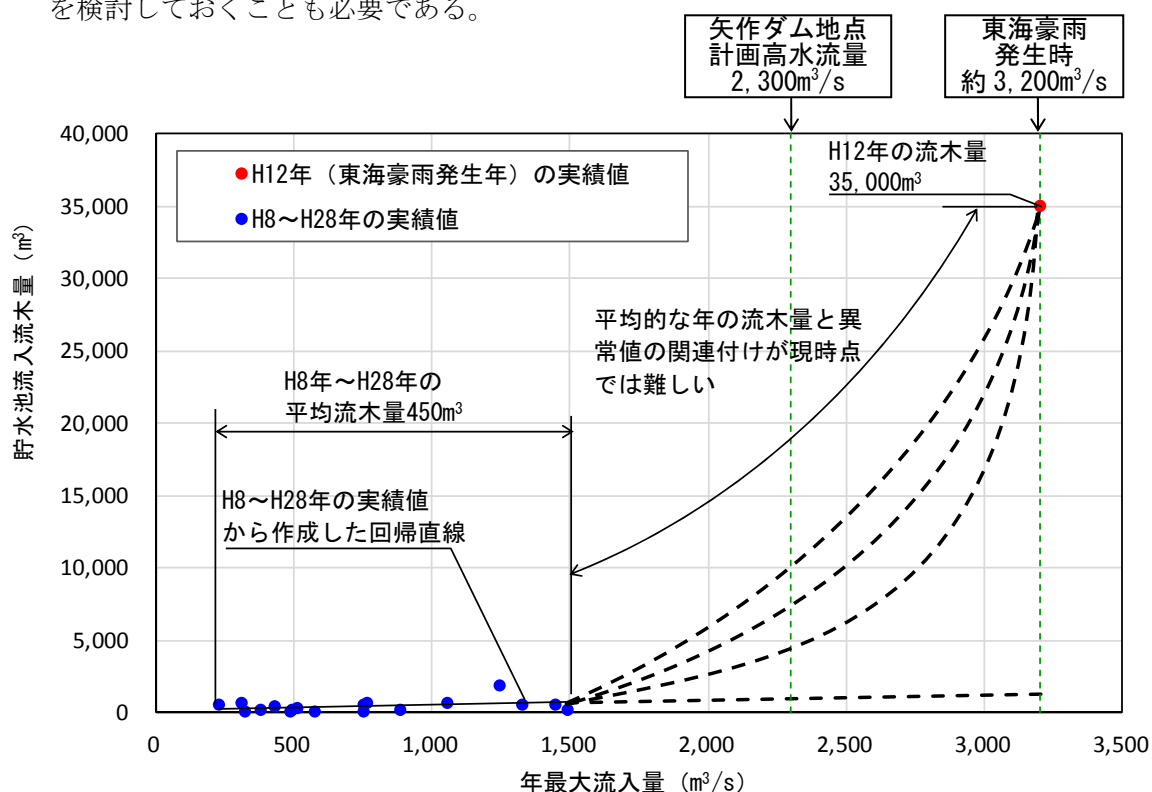


図 2.1 矢作ダムにおけるダム年最大流入量とダム貯水池流入流木量の関係

このため、本手引きでは、平常時の流木対策の対象とする流木量を「通年規模の流木量」とし、非常時に備えておくべき対象とする流木量を「大規模洪水における流木量」として区分するものとする。両者を区分する基準について、本手引き作成段階で蓄積されたデータからは、明確とすることは困難であるが、本手引き作成段階では、以下の条件に合致するものを「大規模洪水における流木量」とし、これ以外を「通年規模の流木量」としている。

- 計画規模に相当する洪水や、計画規模を上回る洪水に伴って発生する。
- 平均的な年の流木量を大きく上回る(平均的な年の 10 倍程度を目安とする)。

通年規模の流木量は、平常時の流木対策を検討する際に活用するものであり、流木の回収・陸揚げに必要な設備の規模や、仮置きヤードの大きさ、流木を有効活用するにあたっての需要先への供給量を示す指標とする。一方、大規模洪水における流木量は、放流設備の閉塞・損傷や、流木のダム下流への流出等を防止するために実施する非常時の流木対策を検討する際の指標とする。

(2) 流木量の推定

通年規模の流木量の推定にあたっては、貯水池に流入する流木量がダム流入量（特に年最大流入量）と高い相関性を示す傾向があることから、当該ダムにおける流木量の実績値と、ダムの年最大流入量の関係を用い、ダムごとに推定式を作成することとする。

大規模洪水における流木量については、本手引き作成段階では異常洪水に伴う大規模な流木量の実績値が少ないことから、全国のダムにおける流木量の実績値を基に作成した推定式を、各ダム共通の推定式として用いることとする。

【参考文献】

- 1) 「H12.9 東海豪雨による流木の調査」 森田実，田中茂信，高橋洋一 河川技術論文集，第 8 巻，2002.06
- 2) 「沙流川での 2003 年台風 10 号における流木の挙動」(独)北海道開発土木研究所 河川研究室 鈴木優一，渡邊康玄

2.2 通年規模の流木量の推定

通年規模の流木量は、当該ダムで回収した流木量の実績値を基に推定することを基本とする。

【解 説】

(1) 推定方法の考え方及び活用方法

ダム貯水池流入流木量は、同年におけるダム貯水池の年最大流入量と高い相関性を示すことが多く、通年規模の流木量は、ダム運用開始以降の年最大流入量と流木量の関係を用いて推定することとする。ただし、完成後の経過年数が短く、推定式の作成に必要な実績値が不足しているダム、計画段階のダム等については、当該ダムの実績値だけで推定することが困難である。この場合は、近傍類似ダムの流入量と流木量の関係を参照する方法や、他ダムの実績値を基に作成した推定式（以下、「全国推定式」とする）を用いる方法がある。

近傍類似ダムの流入量と流木量の関係を参照する方法は、全国推定式と近傍類似ダムで作成された推定式が大きく異なる場合に、採用するものである。ダム貯水池に流入する流木量に影響する要因としては、流域内の斜面勾配、植生、河床勾配、降雨特性等多岐にわたるとされており、流木量に関する近傍類似ダムの定義については現時点では明らかにとされていないが、以下の条件にあてはまる場合は、近傍類似ダムの実績値を参照して当該ダムの流木量を推定することも可能である。

- ・ 当該ダム近傍に、流域内の斜面勾配、河床勾配、植生等、流木発生量に与える影響因子について、類似したダムがある。
- ・ 近傍類似ダムの実績値から作成された推定式が、全国推定式と大きく異なり、当該ダムの流木量を的確に推定するためには、近傍類似ダムの推定式を参照することが優位であると判断される。

また、ダム上流域に流木供給源が少なく、ダム貯水池に流入する流木が少量であるケースや、ダム上流域から供給される流木のほとんどが他ダムで捕捉されるケースなどでは、流木量と流入量の関連性がなく、流入量から流木量を推定することが適切でないことがあり、このような場合には、当該ダムで個別に推定する方法を別途検討する必要がある。

以上のことから、「通常規模の流木量の推定」は、次に示す4つの推定方法が考えられ、各ダム固有の条件を考慮し、図 2.2 示す手順で適切な方法を選定するものとする。図中の「データの信頼性」については、1年間でダム貯水池に流入した流木量が、5.2 節「ダム貯水池流入流木量の測定」で記載しているような決められた測定方法により把握され、その記録が管理されている場合に信頼性があると判定する。

なお、各ダムで設定した推定方法については、今後、蓄積されたデータを基に、必要に応じて見直していくものとする。

① 当該ダムの流木量と流入量の実績値から推定する方法

当該ダムの年最大流入量と貯水池流入流木量の実績値をもとに、両者の回帰直線を作成し、流木量を推定する方法である。

通年規模の流木量の推定は、この方法を用いることを基本とするが、データの信頼性があること、流木量と年最大流入量の関係に相関があることが前提となる。

② 当該ダムの流木量の実績値を基に推定を個別に検討する方法

当該ダムの流木量と流入量の関係に相関がみられない場合に用いる方法である。

この方法では、流木量と流入量の関係ではなく、当該ダムの流木量実績値から推定方法を個別に検討する必要がある。なお、ダム上流域に流木供給源が少なくダム貯水池に流入する流木が少量である場合や、ダム上流域に他ダムがあり流域から供給される流木のほとんどが他ダムで捕捉される場合は、流木量と流入量の相関が得られにくい傾向がある。

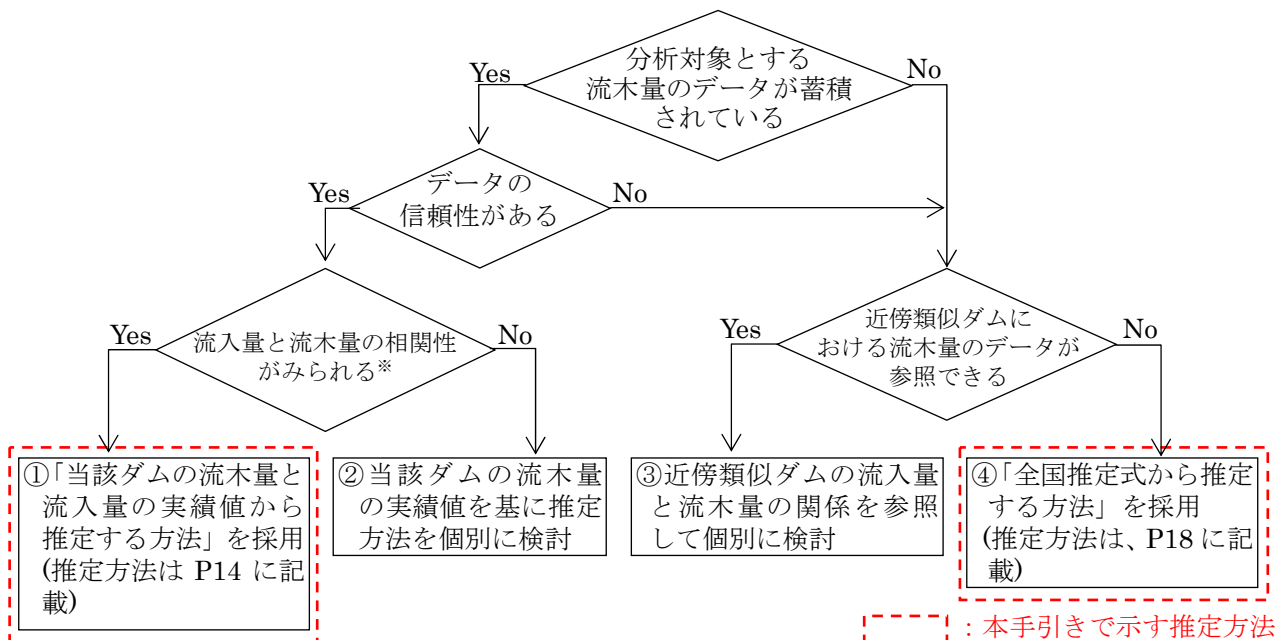
③ 近傍類似ダムの流入量と流木量の間を参照して個別に検討する方法

流木量推定に必要なデータが蓄積されていない場合に、近傍類似ダムにおける流木量と年最大流入量の間を参照し、当該ダム推定方法を個別に検討する方法である。

この方法は、当該ダム近傍に流域特性（地形・地質・植生・比堆砂量等）が類似するダムがあり、近傍類似ダムの流木量と流入量の実績値から作成した流木量の推定式が、全国推定式と大きく異なる場合に用いる。

④ 全国推定式から推定する方法

流木量推定に必要なデータが蓄積されていない場合に、全国の 44 ダムにおける流木量と流入量の実績値をもとに作成した全国推定式を用いて推定する方法である。



※ダム貯水池に流入する流木が少量である場合や、ダム上流域に他ダムがあり、流域から供給される流木のほとんどが他ダムで捕捉される場合は、流木量と流入量の間を参照しにくい傾向がある。

図 2.2 各ダムにおける推定式方法の選定

(2) 当該ダムの流木量と流入量の実績値から推定する方法

1) 流木回収記録の整理

以下の点に留意し、各ダムにおける流木回収記録を整理する。

- ・ 異常降雨等の要因で発生した通常年の流木発生量を大きく上回るデータ（通常年の10倍を目安とする）は、異常値として棄却する。
- ・ 単年での流木量を推定することから、当該年度にダム貯水池に流入した流木を複数年に分割して回収した場合については、年度ごとの回収量となるよう可能な限り補正する。
- ・ 推定する流木量は、空隙率を含む体積を基本とするため、回収流木量を重量で管理しているダムは、体積に換算する。

2) 流木回収年のダム流入量の整理

流木回収記録と同一期間における各年の年最大流量を整理する。

3) 流木量推定の基本となる回帰直線の作成

横軸を年最大流量、縦軸を流木量とした散布図から、両者の回帰直線を作成する。作成した回帰直線は、当該ダムにおける通年規模の流木量を推定するうえでの基本式となる。

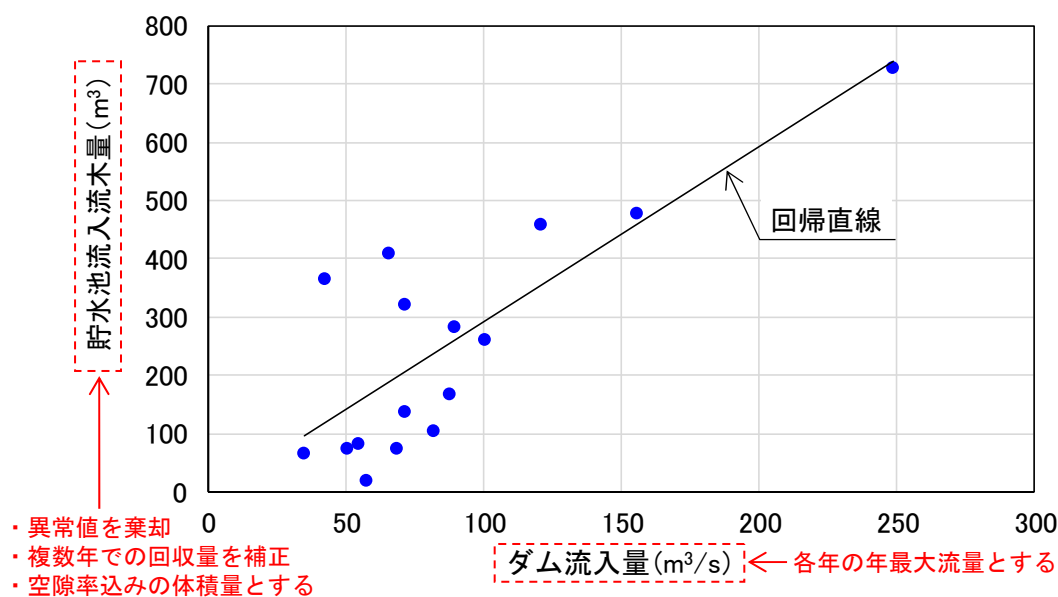


図 2.3 各ダムにおける回帰直線の作成例

4) 推定式の活用方法

流木量は、推定値の使用目的に応じて使い分けることとする。

流木の回収・陸揚げ施設や、仮置きヤードの大きさを検討する際には、必要となる最大規模を把握することから、推定式のダム流入量に当該ダム地点の計画高水流量を入力し、算出した流木量を検討の目安とする。このとき、ダム流入量と流木量の相関性が高く、データのばらつきが小さいダムでは図 2.4 に示すように回帰直線をそのまま推定式とし、データのばらつきが大きいダムでは図 2.5 に示すように施設の規模を安全側に設定するため、回帰直線を補正し、回帰直線+ α ※を推定式とすることが考えられる。ただし、2.1(1)で前述したとおり、本手引きの作成時点では、計画高水流量付近の流木量の実績が少なく、大規模な洪水に伴って発生する流木量については不明な点が多い。特に、図 2.6 に示すように至近 10 ヶ年の年最大流量が当該のダム計画高水流量と比較して著しく小さいケースなどでは、これまでの実績値から計画高水流量に伴う流木量を推定すると、施設の規模が過大となり、実態と合わなくなることも考えられる。このような場合は、当面は実績最大規模の流木量に対する対策を検討しておき、大規模洪水に伴う流木量のデータの蓄積に応じて施設の最適な規模を再検討するなどの方法がある。

一方、流木処理を検討するにあたり、有効活用の需要先に安定して供給可能な流木量を算出する際には、供給可能量を過大にとることを防止するため、回帰直線に入力する流入量を至近数ヶ年の平均値とするなどし、データのばらつきが大きいダムでは回帰直線- α を推定式とすることが考えられる。

本手引きでは、流木量の推定方法についての基本的な考え方を記載しているが、対策の対象とする流木量については上記のとおり、各ダムの流木発生状況を踏まえ、各ダムの実態に合うように設定する必要がある。

※ α は、回帰直線による推定値と実績値との残差の標準偏差 σ を基準とし、推定式を回帰直線+ $n\sigma$ とするなどの方法が考えられ、 n はデータのばらつきが大きいダムほど大きくとる。標準偏差 σ の大きさはダムごとに異なるため、対策の規模に及ぼす影響を考慮し、ダムごとに設定する。

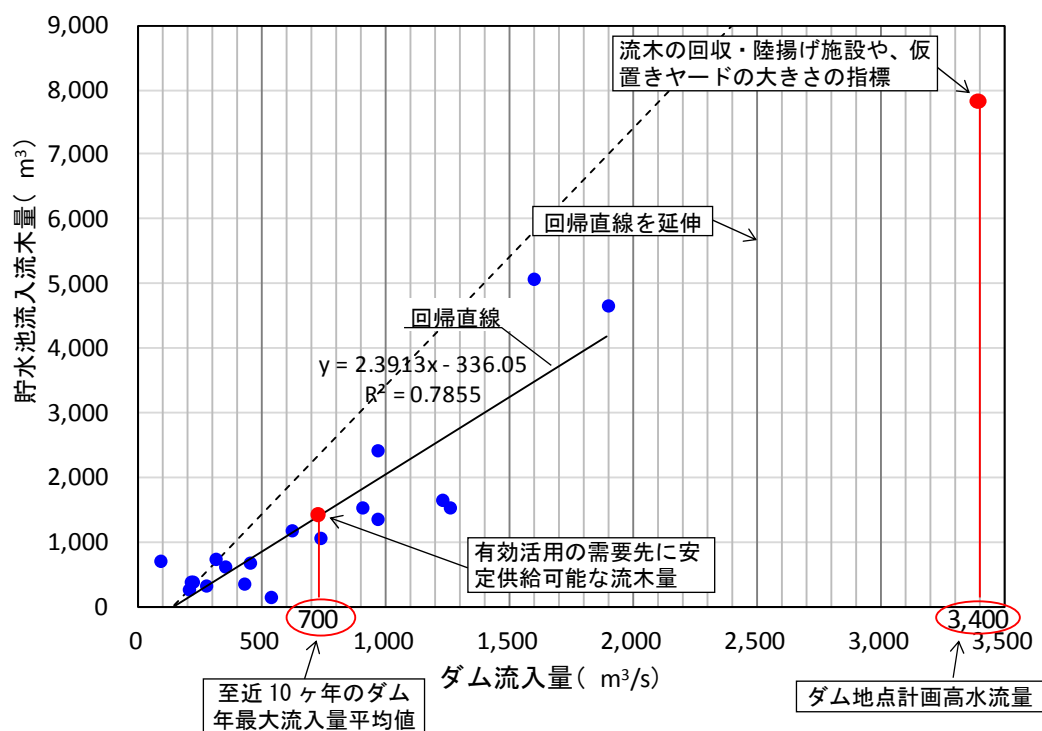


図 2.4 各種対策の対象とする流木量の算出例（データのばらつきが小さい）

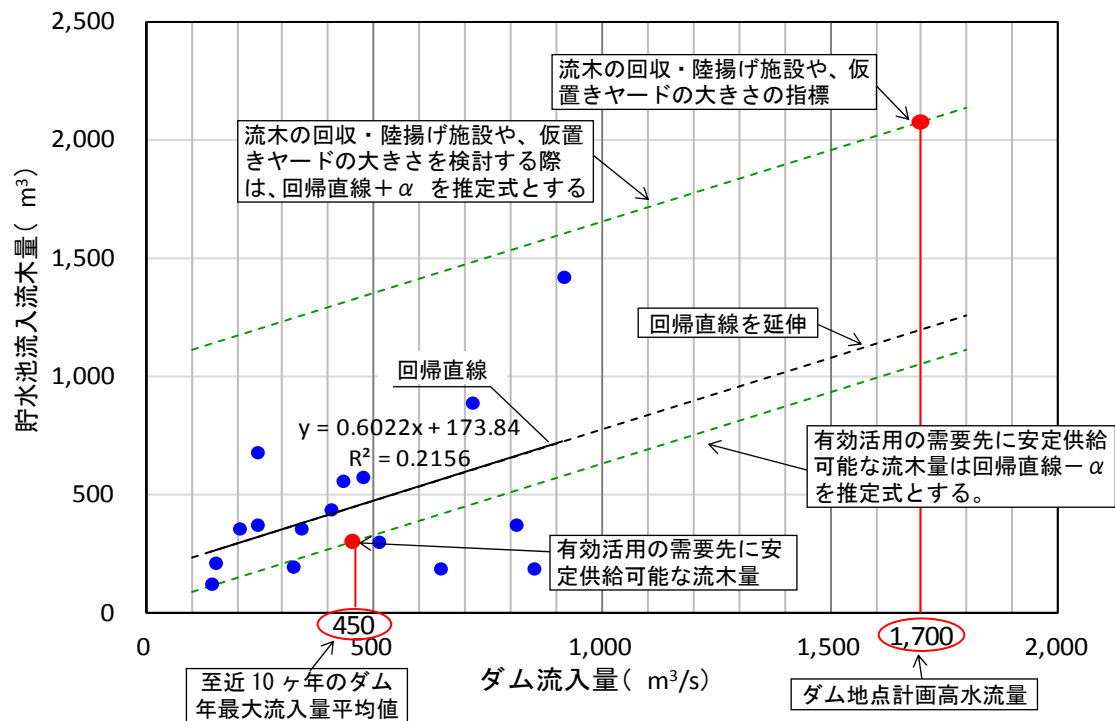


図 2.5 各種対策の対象とする流木量の算出例（データのばらつきが大きい）

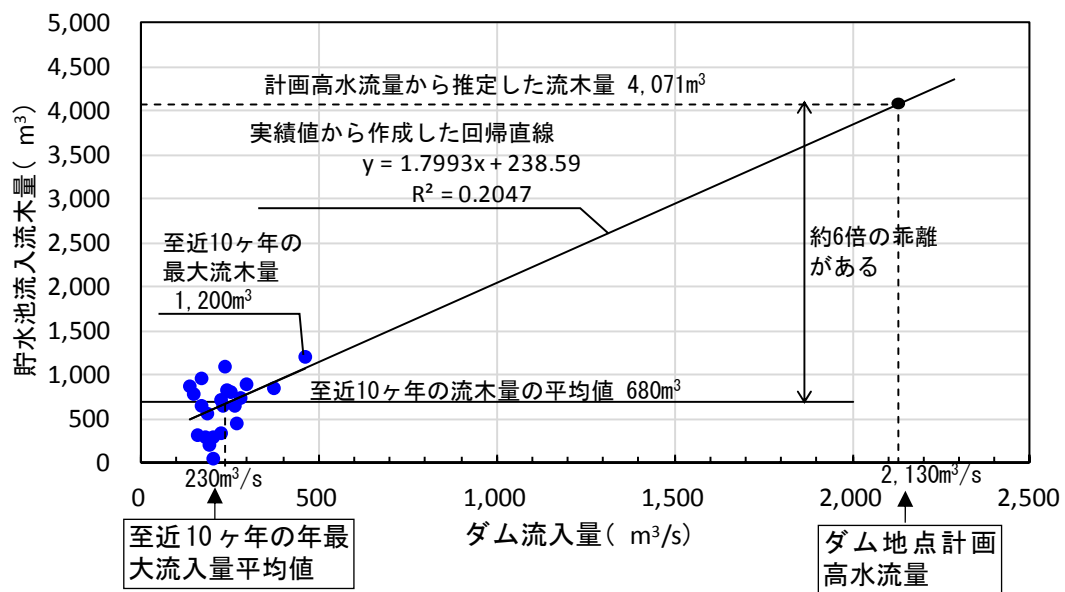


図 2.6 計画高水流量から推定した流木量が対策の実態と乖離するケース

(3) 全国推定式から推定する方法

全国推定式は、全国のダムから 44 ダムを選定し、以下の手順で作成したものである。

- ・ 地域・流域面積に偏りがなく、完成後 10 年以上経過したダムから 44 ダムを選定した。
- ・ 選定した各ダムにおける年最大流量と当該年度における流木量を整理した。
- ・ 横軸を年最大流量、縦軸を流木量とし、44 ダムのデータをプロットした散布図から、両者の回帰直線を作成した。作成した回帰直線を通年規模の流木量を推定するうえでの基本式としている。

通年規模の流木量を推定するうえでの基本式となる回帰直線は図 2.7 に示すとおりである。作成後の使用方法については、各ダムの実績値から推定する方法と同様であるが、以下のよう手順が考えられる。

- ・ 当該ダムの流木量データがある程度蓄積されるまでは、回帰直線を基本として流木量を推定する。
- ・ 信頼性のある流木量データが数年蓄積された段階で、実績値と、上記の回帰直線による推定値を比較し、推定方法の妥当性を検証する。
- ・ 検証結果を踏まえ、当該ダムの流木量推定式を再度設定する。以下から適切な方法を選定する。
 - ① 引続き全国推定式の回帰直線を推定式として使用する
 - ② 当該ダムの実績値を基にした推定式（P14～17）に切替える

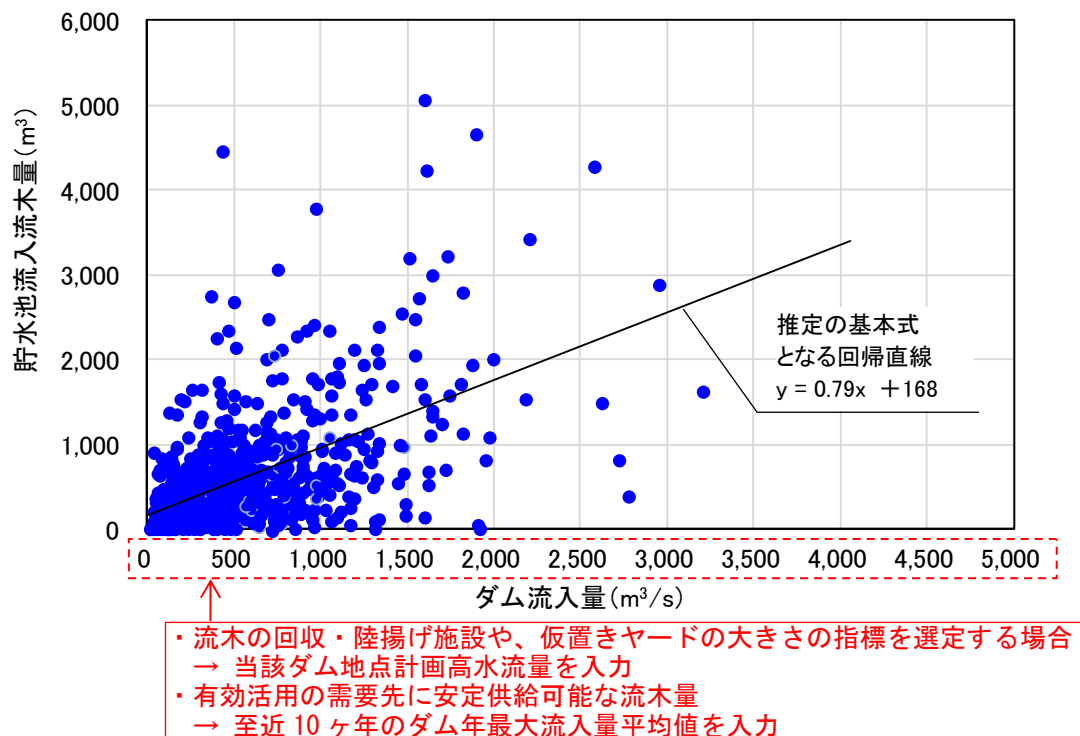


図 2.7 全国推定式となる回帰直線

【事 例】

① Aダムにおける実績値からの推定式使用事例（データのばらつきが小さい事例）

Aダムでは、流木量推定の基本となる年最大流量と流木量の回帰直線は、図 2.8 に示しておりである。年最大流量と流木量は良好な正の相関を示しており、年最大流量から流木量を精度良く推定することが可能であると判定する。このため、推定式は以下のとおりに活用するものとする。

- ・データのばらつきが小さく、年最大流量と流木量は良好な正の相関を示していることから、対策の対象とする流木量の推定式としては、回帰直線の補正は行わない。
- ・流木の回収・陸揚げ施設や、仮置きヤードの大きさの検討に際しては、回帰直線にダム地点計画高水流量を入力し、必要規模を把握する。
- ・有効活用の需要先に安定供給可能な流木量を検討する際には、至近 10 ヶ年の年最大流量平均値を入力し、安定供給可能な流木量を把握する。

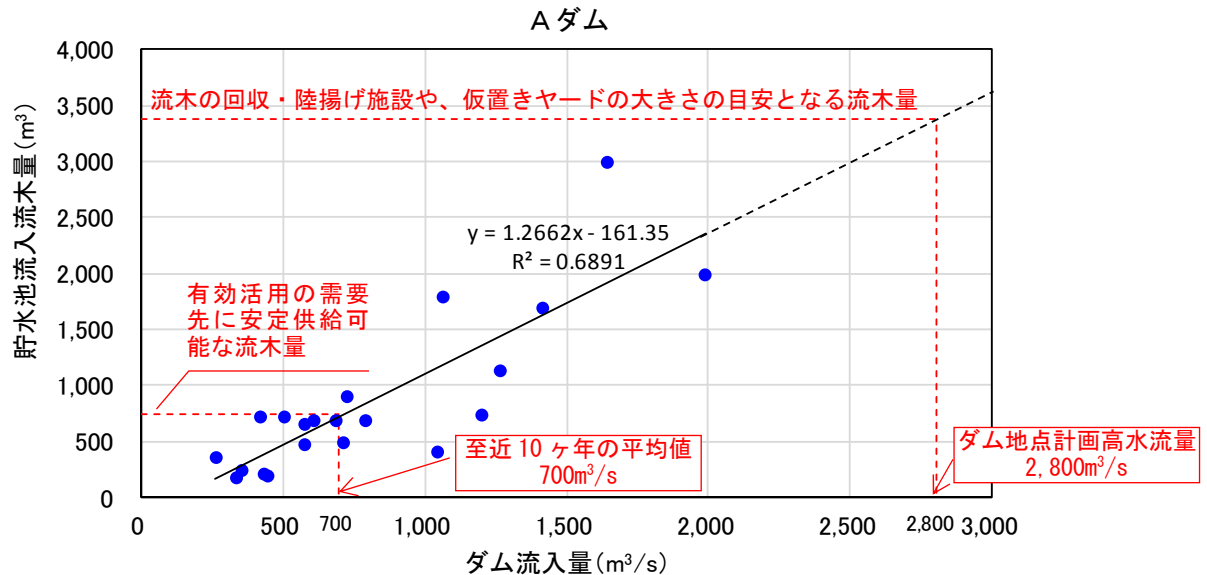


図 2.8 Aダムにおける通常規模の流木発生量推定式と利用イメージ

流木の回収・陸揚げ施設や、仮置きヤードの大きさの目安となる流木量

Aダムのダム地点計画高水流量は、 $2,800\text{m}^3/\text{s}$ であり、図 2.8 に示すように回帰直線を推定式とし、以下のとおりに算出する。

流木の回収・陸揚げ施設や、仮置きヤードの大きさの目安となる流木量

$$= 1.27 \times 2,800 - 161 \div 3,400\text{m}^3$$

有効活用の需要先に安定供給可能な流木量

Aダムの至近 10 ヶ年ダム年最大流入量平均値は $700\text{m}^3/\text{s}$ であり、図 2.8 に示すように回帰直線を推定式とし、以下のとおりに算出する。

有効活用の需要先に安定供給可能な流木量

$$= 1.27 \times 700 - 161 \div 730\text{m}^3$$

② Bダムにおける実績値からの推定式使用事例（データのばらつきが大きい事例）

Bダムでは、流木量推定の基本となる年最大流量と流木量の回帰直線は、図 2.9 に示すとおりである。年最大流量と流木量は正の相関を示しているが、相関係数が小さく、データのばらつきが大きいことを考慮し、推定式は以下のとおりに活用するものとする。

- ・年最大流量と流木量は正の相関を示しているが、データのばらつきが大きいので、回帰直線を補正したものを対策の対象とする流木量推定式とする。
- ・流木の回収・陸揚げ施設や、仮置きヤードの大きさの検討に際しては、回帰直線に余裕分を加算したうえで、ダム地点計画高水流量を入力し、必要規模を把握する。計画高水流量入力時の流木量が実績値を上回るように余裕分は大きくとるものとし、回帰直線による推定値と実績値との残差の標準偏差 σ に 2.0 を乗じた値を加算する。この事例では、 $\sigma \div 40\text{m}^3$ であり、余裕分を流木量に換算すると約 80m^3 である。
- ・有効活用の需要先に安定供給可能な流木量を検討する際には、回帰直線に余裕分を減じたうえで、至近数ヶ年の年最大流量平均値から需要先への安定供給量を把握する。

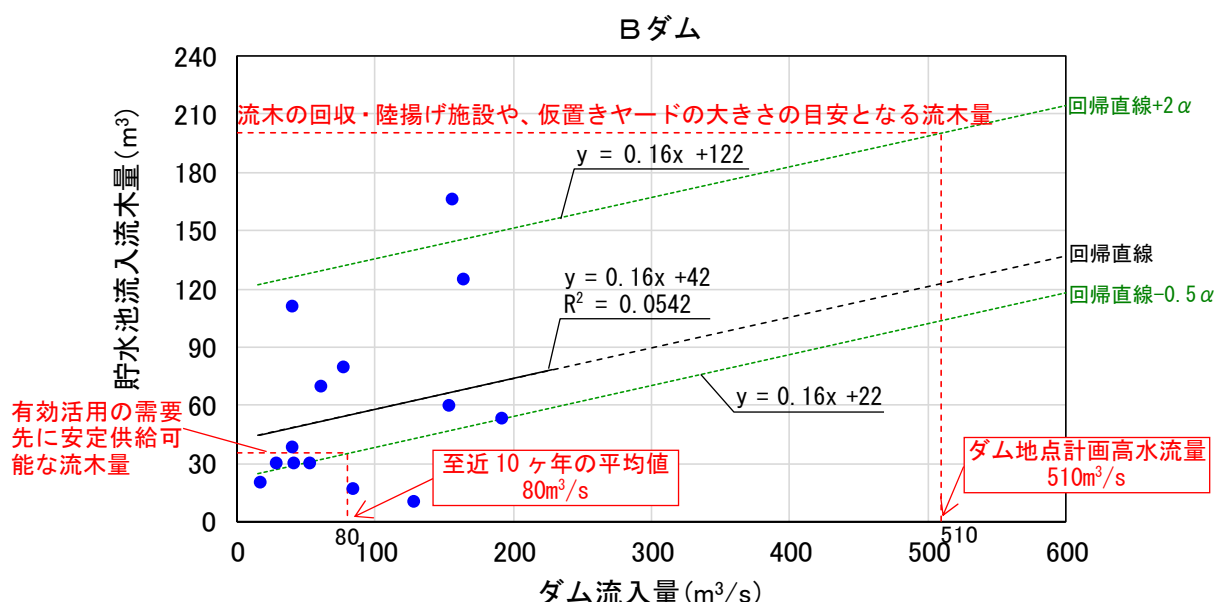


図 2.9 Bダムにおける通常規模の流木発生量推定式と利用イメージ

流木の回収・陸揚げ施設や、仮置きヤードの大きさの目安となる流木量

Bダムのダム地点計画高水流量は、 $510\text{m}^3/\text{s}$ であり、図 2.9 に示すように回帰直線 $+2.0\sigma$ を推定式とし、以下のとおりに算出する。

流木の回収・陸揚げ施設や、仮置きヤードの大きさの目安となる流木量

$$= 0.16 \times 510 + 42 + 80 (2\sigma) \div 200\text{m}^3$$

有効活用の需要先に安定供給可能な流木量

Bダムの至近 10 ヶ年ダム年最大流入量平均値は $80\text{m}^3/\text{s}$ であり、図 2.9 に示すように回帰直線 -0.5σ を推定式とし、以下のとおりに算出する。

有効活用の需要先に安定供給可能な流木量

$$= 0.16 \times 80 + 42 - 20 (0.5\sigma) \div 35\text{m}^3$$

2.3 大規模洪水における流木量の推定

大規模洪水における流木量は、平均的な流木量を大きく上回る実績値を基に作成した推定式と、各ダムの流域面積から推定することを基本とする。

【解 説】

大規模洪水における流木量は、計画規模に相当する洪水や、計画規模を上回る洪水に伴い発生するものであり、多くのダムでは未経験である。このため、通年規模の流木量の推定方法とは異なり、全国のダムにおける流木量の実績値から平均的な流木量を大きく上回る実績値を抽出し、全ダムで適用する推定式として作成している。

推定式は、図 2.10 に示すように、推定の基データとして抽出した流木量と、該当するダムの流域面積からの散布図から作成した回帰直線を基本としている。大規模洪水における流木量は、ダム管理者が想定しておくべき最大規模の対策の指標とすることから、実績値の上限値を包絡する直線となる回帰直線+ 1.5σ ^{※1}を目安として用いるものとする。

大規模洪水における流木量の推定式は、以下のとおりである。

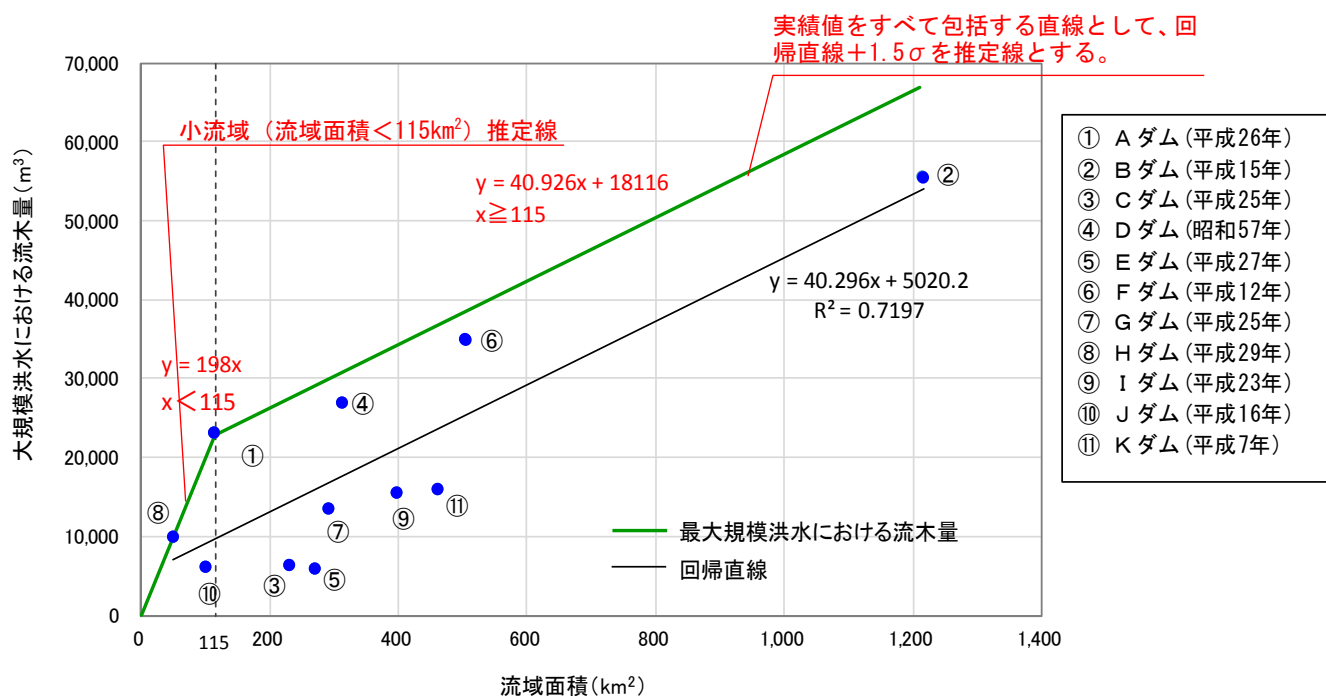
- ・ $y = 198x$ ($x < 115$)
- ・ $y = 40.926x + 181.16$ ($x \geq 115$)

- ※ ここで、 y ：大規模洪水における流木量 (m^3)、 x ：流域面積 (km^2)
- ※ 推定式は、すべての実績値を包絡するように作成しており、小流域における実績値を包絡するため、流域面積 115km^2 を、推定式を使い分ける区分としている。
- ※ 上流に他のダムがある場合は、その配置や流木の捕捉状況を勘案し、当該ダムの流域面積から他のダムの流域面積を控除するなどの処置をとるものとする。
- ※ 上記の推定式は、回帰直線に加算する余裕分として、 1.5σ を加算しているが、各ダムで適宜変更することもできる。

なお、推定式の更新は、推定の基データとなるような大規模な流木量の実績値の蓄積に応じて、検討していくこととなる。

※1： σ は、回帰直線による推定値と実績値との残差の標準偏差である。($\sigma \approx 8,730 \text{ m}^3$)

大規模洪水における流木量は、全実績値を包絡することを基本とし、回帰直線+ 1.5σ を推定式としている。



式の適用範囲に関する注釈

- ・推定線作成の基データとなったダムのなかで最も大きい流域面積は 1,215km² であるため、推定線の適用範囲となる流域面積は、最大 1,215km² までとする。
- ・流域面積が小さいダムの大量流木発生実績としては図中の①と⑧があるが、小流域ダムでの大規模洪水における流木量を過大に評価することがないように、①と⑧のデータを包絡する直線を別途作成し、この直線と回帰直線+1.5σが交わる流域面積 115km² を分岐点として推定式を使い分けるものとしている。
- ・国内のダムは、河口堰等を除くとほとんど 1,215km² となるため、推定式の適用範囲内となる。1,215km² を超える大流域のダムについては、現時点では実績値がないことから、推定線の最大値約 68,000 千 m³ を大規模洪水における流木量として扱う。

図 2.10 大規模洪水における流木量の推定式

3. 流木の捕捉

流木止設備は、流木の回収・陸揚げの効率化や、流木から放流設備等の施設を保護するとともに、下流への流木流出を防止する観点から、適切な配置と運用を検討する。

【解 説】

ダム貯水池における流木止設備は、出水に伴う流木や塵芥などから放流設備等を保護する目的で、主に貯水池の堤体近傍に設けられるものであり、多くのダムでは流木止設備として網場を配置している。ここでは、網場を配置しているダムを対象とし、その効果的な配置と運用について解説する。

網場は、貯水池に流入する流木を捕捉することで、ダムの放流設備等の閉塞や損傷を防止するとともに、下流河川における洪水被害拡大防止に寄与するなど、重要な役割を担っている。ただし、大量の流木が貯水池に流入すると、網場の切断等により、捕捉していた流木が流出することで放流設備の閉塞や損傷が発生し、洪水調節機能に支障が出る可能性が高くなる。流木が要因となるダム施設の不具合の多くは放流設備に関するものであり、主なものとしては、流木によるゲート水密ゴムの破損や、ゲート下端に流木を挟み込むことによりゲートが全閉状態とならないことなどが挙げられる。多くのケースでは、洪水調節機能への影響は小さいといえるが、以下に示すとおり、洪水調節機能への深刻な影響が懸念される事例も報告されている。

二風谷ダムの例

二風谷ダムでは、平成 15 年の異常洪水により大量の流木が貯水池に流入し網場のネット部や係留ロープが破断した。このため、多くの流木が堤体近傍まで流出するとともに、一部の流木は放流設備から下流へ流出した（写真 3.1）。湖内に滞留した大量の流木については、24 時間 3 交代制の作業により約 3 週間でおおむね回収・陸揚げを完了した。



写真 3.1 平成 15 年二風谷ダムにおける網場の切断後の状況

裾花ダムの例

裾花ダムでは、平成 29 年 8 月の集中豪雨発生に伴う洪水調節において、常用洪水吐きであるコンジットゲート 2 門の操作を実施していたところ、1 門のコンジットゲート開口部（開口高さ 28cm）に貯水池に沈んでいた流木が挟み込み、ゲートの開閉操作が実施できなくなった（写真 3.2）。



写真 3.2 平成 29 年裾花ダムにおけるコンジットゲート閉塞状況

上記の事例ではいずれも二次的な被害は発生していないが、このままの状態で大規模な洪水が発生した場合には、下流河川の洪水被害を助長するなど、大きなリスクに繋がる可能性があり、網場で流木を確実に捕捉しておくことが重要である。

コラム：網場を通過した流木に起因するダムの放流設備等の損傷について

網場を通過した流木に起因するダムの放流設備等の損傷事例の多くは、取水ゲートや放流ゲートに関するものである。その内訳としては、網場を通過した流木によるゲート部水密ゴムの損傷や、ゲート下端に流木を挟み込んだことによる全閉操作への支障などが多くを占めているが、なかにはワイヤーロープが外れて一時的にゲート操作が不能になった事例も報告されている。ゲート操作が一時的なものであっても、連続して大規模洪水が発生した際には、下流河川の洪水被害を拡大させるなどの大きなリスクに繋がる可能性がある。



※左写真：水密ゴムの損傷

右写真：ゲート下端の流木の挟込み

写真 3.3 比較的軽微な放流設備の損傷事例



※取水ゲートの事例であり、シーブとワイヤーロープの間に流木等が挟まり、ゲート上昇時にワイヤーロープがシーブから押し出され、外れたものと推測されている。

写真 3.4 ゲート操作が一時的に不能となった損傷事例

また、網場は堤体近傍に配置されることが多いが、陸揚げ箇所や進入路の位置と網場の設置位置が離れている場合には、流木の回収・陸揚げの効率が悪くなることから、作業効率にも考慮して配置を検討することが重要である。

上記のことから、網場本体の経済性だけでなく、堤体付近への流出を防止する観点や、捕捉した流木の回収・陸揚げの効率化を図る観点から、網場の配置と運用を検討する必要がある。

網場の配置と運用の改善策を表 3.1 に示す。堤体付近への流木流出を防止するための改善策としては、堤体近傍に配置した網場の上流に追加で網場を配置することが挙げられる。一般的な網場は、図 3.1 に示すように、主ロープ、フロート、ネット等で構成されるが、強風や捕捉した流木から受ける外力などが要因となり、水中部のネットがめくり上がることで網場の流出経路が形成される可能性がある。また、強風等で流木が網場を乗り越えることにより、流木が網場より下流へ流出することがある。これらの対策として、複数の網場を配置することにより、堤体付近への流木流出を予防しているダムもある。

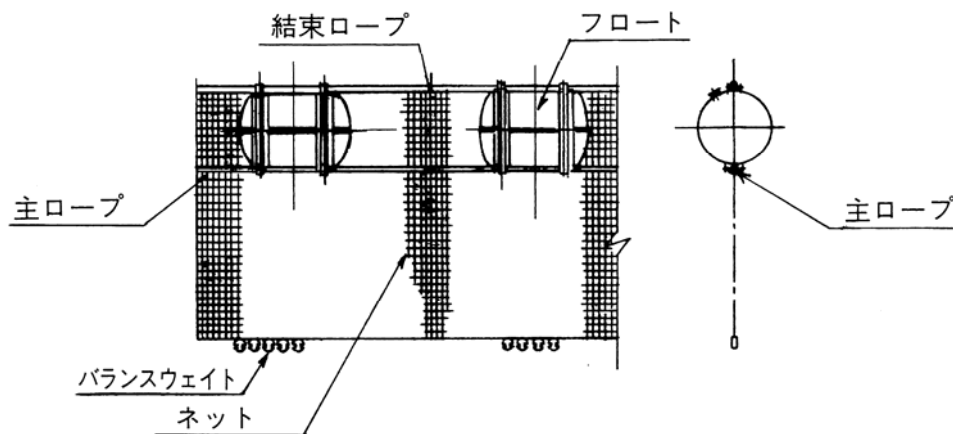


図 3.1 網場の標準的な構造

流木の回収・陸揚げの効率化を図った事例としては、堤体近傍に配置する網場のほか、貯水池進入路の近傍に追加の網場を配置したものや、簡易網場を活用したものが挙げられる。

流木の捕捉に関する課題は、管理開始後の流木発生状況から明らかとなることが多いことから、各ダムでは流木発生状況を分析したうえで、当該ダムに適した改善策を実施するとともに、その効果をモニタリングしながら、継続的に改善を図っていくことが望ましい。また、計画段階のダムにおいては、貯水池進入路と網場の配置を関連付けるなど、管理開始後の流木回収・陸揚げの効率化に留意した網場の配置を検討することが重要である。

表 3.1 網場の配置と運用の改善策

主な目的	改善策	流木捕捉における課題や特徴	改善策の概要	代表事例
堤体付近への流木流出防止	複数網場の配置	・ 捕捉した流木が網場を通過し、堤体近傍まで流出する以下の事象がみられたダム。 ・ 網場水中部のネットがめくり上がることで流木が堤体近傍に流出する※1。 ・ 強風の影響により、捕捉した流木が網場を乗り越え、堤体近傍へ流出する。	ダム堤体近傍に配置する網場の上流 100～300m の位置に、第二網場を配置。第二網場を通過した流木も堤体近傍に配置した網場でできるだけ捕捉する。	長安口ダム
回収・陸揚げの効率化	複数網場の配置	・ 貯水池内への進入路が上流部に配置されているダム。 ・ 堤体近傍に設置した網場だけでは回収の作業効率が悪く、作業効率の向上が課題であった。	ダム堤体近傍に配置する網場の他、貯水池進入路付近に第二網場を配置し、回収・陸揚げの効率化を図る。	天ヶ瀬ダム
	簡易網場※2の活用	・ 強風により捕捉した流木が拡散しやすいダム。 ・ 貯水池内に入り江など、流木を集積しやすい箇所があり、当該箇所近傍で陸揚げが実施できるダム。 ・ 貯水池内進入用の坂路を流木の陸揚げ箇所としているダム。	貯水池の地形や貯水池進入路の配置を踏まえて湖面上における流木集積箇所を選定し、簡易網場を活用して集積した流木の風による拡散を防止するとともに、回収・陸揚げの効率化を図る。	四十四田ダム 矢木沢ダム 二瀬ダム

※1 網場の水中ネットのめくり上がりについては、捕捉する流木量が多い、流木の寸法が大きい、風速の影響で水面下にも流速が発生するなどの要因が考えられる。

また、水面下の流速が 1m/s を超えると、水中ネットがめくり上がる可能性がある（メーカーへのヒヤリング調査に基づく）。

※2 簡易網場：湖面での流木回収時に一時的に使用する網場

【参考文献】

- 1) 「ダム・堰施設技術基準(案)(H28.3 改正)（基準解説編・設備計画マニュアル編）」一般社団法人ダム・堰施設技術協会，2018.03

コラム：網場の効果的な配置と運用の事例

①長安口ダムの事例

長安口ダムでは、堤体近傍に 100m の離隔をとり、2 基の網場を配置し（写真 3.5）、堤体付近への流木流出を予防している。このうち上流側の網場については、流木の通過をさらに防止するため、水中のネット部に錘付きのチェーンネットを採用している。



写真 3.5 長安口ダムの網場の配置

②二瀬ダムの事例

二瀬ダムでは、堤体近傍に網場を配置し、湖面上に滞留する流木を作業船により回収している。回収した流木は、貯水池上流の進入路近傍まで運搬し、写真 3.6 左に示すとおり、簡易網場を利用して集めた流木が拡散しないよう処置している。集めた流木の搬出は、ダムの貯水位が低下した時期にあわせて実施し、写真 3.6 右に示すとおりに陸上部での作業で対応している。



左：集めた流木が拡散しないよう簡易網場で処置 右：水位低下時の状況

写真 3.6 二瀬ダムにおける湖岸での流木集積状況

4. 流木の回収・陸揚げ

流木の回収・陸揚げは、流木量の規模と作業環境の条件を考慮したうえで、適切な施設の規模や配置等を検討する。

【解 説】

(1) 基本的な考え方

ダム貯水池に流入した流木は、網場により捕捉され、湖面で回収したのちに陸揚げされる。流木の回収・陸揚げは一連の作業となるため、各ダムで検討の対象とする流木量の規模や作業環境の条件を考慮したうえで、双方の作業能力が均衡するように作業計画を検討する必要がある。

また、大規模洪水における流木量が発生した場合には、流木により放流設備等の閉塞や損傷が発生することで洪水調節機能に影響するリスクや、網場が破損することで流木が下流に流出し、下流河川の洪水被害を拡大させるリスクがある。3章で事例として記載した平成15年8月の二風谷ダムの例では、こうしたリスクが高い状態であったといえるが、通常時とは異なる非常時の作業体制をとり、速やかに流木を除去したことから、二次的な被害は発生していない。大規模洪水における流木量を対象とし、非常時の作業計画をあらかじめ策定しておくことが重要である。

(2) 流木対策の基本事項

流木の回収・陸揚げは一連の作業となるため、その作業量を均衡させたいうえで適切な組合せを検討する。流木の回収・陸揚げについての基本事項を以下に示す。

1) 流木の回収

流木の回収は、湖面上に滞留する流木を回収し、陸揚げ箇所まで水上運搬する作業である。現在多くのダムで採用されている回収方法を表4.1に示す。対象とする流木量が少ない場合には、和船による人力作業による回収のみで対応可能なこともあるが、流木量が多いと、集積用簡易網場や専用の集塵船を配置していることが多い。

表 4.1 流木の回収に使用される主な設備

① 人力作業	写 真	 和船により湖面上の流木を人力で回収し、陸揚げ箇所まで運搬する。 作業船上での人力作業となるため、作業船からの転落防止に留意する。
② 集積用簡易網場を用いた作業	写 真	 集積用簡易網場で取り囲んだ流木を作業船で陸揚げ場まで曳航する。 作業船の転覆、故障を防止するため、1回当りに曳航する流木量を作業船の能力に応じて設定する。
③ 集塵船を用いた作業	写 真	 双胴間に設けた集塵カゴに流木を回収し、そのまま船で岸边や進入路などの陸揚げ場所まで運搬する方法である。甲板上に油圧ショベルを配置したものが多いが、対象とする流木が小さい場合には、自走で回航して、人力の補助作業により集塵カゴに流木を回収する方式がある。

2) 流木の陸揚げ

流木の陸揚げは、回収方法や陸揚げ時の貯水位と陸揚げ場所との高低差を考慮し、各ダムの作業条件に適した方法を選定する。

a) 高低差が小さい場合

人力作業による陸揚げ、バックホウによる陸揚げ（写真 4.1）が可能である。



写真 4.1 バックホウによる陸揚げ事例

b) 高低差が大きい場合

クレーンによる陸揚げが基本となる（写真 4.2）。また、流木回収方法として集塵船を用いる場合には、回収した流木をカゴごと陸揚げするため、クレーンによる陸揚げ（写真 4.3）を採用する。



写真 4.2 クレーンによる陸揚げ事例



写真 4.3 集塵船からのクレーンによる陸揚げ事例

3) 作業における工夫等

流木の回収・陸揚げの効率を改善する対応例を以下に示す。なお、流木の回収・陸揚げは、陸揚げ箇所と貯水面の高低差が小さいほど効率的に実施できる。このため、洪水発生後の水位低下前に流木を回収することや、年間の貯水池運用において貯水位が高い時期に流木を回収することなど、貯水位の状況に応じて対応することが望ましい。

a) 湖面上で集積した流木の再拡散防止

陸揚げ付近に集積した流木については、強風により再度拡散することがあるが、簡易網場やロープ等でループ状に囲んだ状態で係留しておくことで再拡散を防止することができる（写真 4.4）。



写真 4.4 流木の再拡散防止対策

b) 陸揚げの効率化

ア. 集積用簡易網場を活用した陸揚げ

集積用簡易網場を用いた回収を採用する場合、陸揚げ箇所では集積用簡易網場の両端のうち一方を陸上部に固定し、一方を船舶に固定して流木を取り囲み、陸上からウインチを利用して地引網のように集積した流木を陸揚げする方法がある。一度に大量の流木を陸揚げすることが可能であり、作業効率を高めることができる。採用する条件として、作業時のダム貯水位と陸揚げ箇所の標高差が小さいこと、引寄せ作業の足場を確保することが挙げられる。

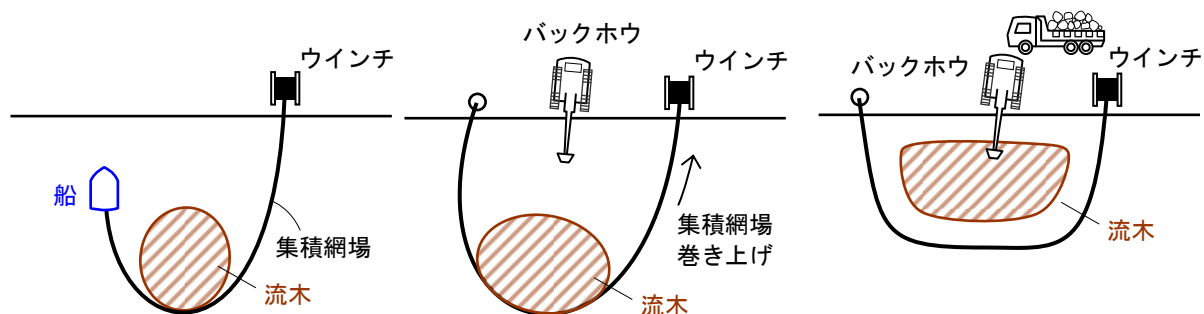


図 4.1 地引き網型集積用簡易網場の使用方法

イ. 陸揚げに使用するバックホウ・クレーン等に関する工夫

湖岸に集めた流木の陸揚げをバックホウにより行う場合は、写真 4.5 に示すようにバックホウのアタッチメントをスケルトンバケットとすることにより、陸揚げした流木の水切りが不要になるとともに、流木と流木以外の小さなゴミなどを分別して回収することが可能となる。



※バックホウのアタッチメントにスケルトンバケット（右）の適用で効率化を図ることができる。

写真 4.5 ロングアームバックホウの使用例

また、クレーンによる陸揚げを行う場合には、クレーンのバケットを工夫することにより、スケルトンバケットの同様と効果を得るとともに、一回当りに陸揚げする流木量を大きくするなどの方法がある。

写真 4.6 は、平成 28 年 8 月の洪水により、通常年を大きく上回る流木がダム貯水池に流入した滝ダムの例を示すものである。この例では、クレーンを堤体天端に配置し、堤体近傍に集めた湖面上の流木を T-クラムシェルバケット（NETIS 番号：KT-150122-A）を利用して回収している。回収用のバケットを流木の陸揚げに適したものに改善することにより、作業の効率が大幅に向上したとされている。



写真 4.6 T-クラムシェルバケット（NETIS 番号：KT-150122-A）の使用例

(3) 大規模洪水における流木量に対する留意事項

通年規模を大きく上回る流木量が発生した際は、通常年の流木回収・陸揚げとは区分し、非常時の対応策として、短期間で貯水池から流木を除去するために、流木量に応じた作業機械の調達や配置などに関する作業計画をあらかじめ立案しておくことが重要である。

通常規模の流木量に対する作業と、大規模洪水における流木量に対する作業の違いが明確である事例について、表 4.2 に示す。大規模洪水における流木量に対しては、通常では配置しない大型の設備を利用することもあるため、作業計画の作成にあたっては、留意しておく必要がある。具体的には、近傍のダム間で、相互に所有する流木の回収・陸揚げ設備について把握しておき、大規模洪水における流木量が発生した際に連携できるようにしておくなどの対策が考えられる。

表 4.2 通年規模の流木量に対する作業と大規模洪水における流木量に対する作業の比較（寺内ダムの事例）

通年規模の流木量に対する作業	大規模洪水における流木量に対する作業
	 
寺内ダム至近 10 ヶ年の流木発生量平均値は 116m³/年であり、通常年の流木の回収は、写真に示すような小規模な作業船を使用して実施するとともに、陸揚げも人力やユニック車を利用して実施している。	平成 29 年 7 月は、九州北部豪雨に伴い、約 10,000m³の流木が貯水池に流入している。これは、寺内ダムにおいて、大規模洪水における流木量に相当する規模であった。 これに対し、寺内ダムでは流木の回収にバックホウを配置した台船（写真上）を利用して対応した。また、陸揚げにも大型クレーンを用いている（写真下）

5. 流木の集積

5.1 流木の仮置き

流木の仮置きは、ダム貯水池で回収・陸揚げした流木を、仮置きヤードに集積するものであり、各ダムの流木処理の方法や、流木処理に必要な事前の作業を考慮し、必要な仮置きヤードの面積を把握するとともに、流木を仮置きできる場所をあらかじめ確認する。

【解 説】

(1) 基本的な考え方

ダム貯水池から陸揚げされた流木は、廃棄物として直接処分場へ搬出される場合を除き、搬出前の一時的な仮置きや、流木を有効活用するために必要となる事前の作業を行うことなどを目的とし、仮置きヤードに集積（仮置き）する。仮置きヤードに必要な面積は、各ダムの流木処理の方法によって異なることから、各ダムで所有するヤードにおける仮置き可能量を勘案し、流木処理の方法と併せて流木の仮置き計画を策定する。

(2) 通年規模の流木量に対する留意点

流木の集積（仮置き）は、回収・陸揚げから、流木処理までの工程が滞ることのないよう、各ダムで推定する流木量に対応できる適切な大きさの仮置きヤードを把握しておくとともに、仮置きヤードが不足する場合は、一時的な借地により流木の仮置きができる場所を確認しておく必要がある。仮置きヤードの必要面積は、本手引きで示した推定方法で算出する流木量を基本条件とし、各ダムにおける仮置き流木の積み上げ高さや、流木処理で必要となる作業のスペース等を考慮して算出する。

また、仮置きヤードで流木を保管するにあたっては、一般廃棄物処理や火災予防の観点から、関連する法令を遵守することを基本とし、立ち入り防止策等の必要な設備の配置を検討する。

(3) 大規模洪水における流木量に対する留意点

大規模洪水における流木量に対しては、平常時の仮置きヤードのみでは対応できないことが想定されるため、臨時に確保するヤードの候補地を抽出し、必要な手続き等をあらかじめ確認しておくことが望ましい。また、流木処理作業に時間を要することも想定されることから、長期間の供用も考慮しておくことが望ましい。

5.2 ダム貯水池流入流木量の測定

ダム貯水池流入流木量の測定は、集積した流木を定形に積み上げ、その体積（空隙を含む）を測定することにより行うことを基本とする。

【解 説】

(1) 基本的な考え方

ダム貯水池流入流木量は、流木処理に関する業者の出来高の確認を主な目的として測定されているのが現状であり、その測定方法としては、陸揚げ後に定形に積み上げた状態で体積測定する方法や、ダンプトラックの運搬回数で測定する方法、重量測定による方法などがあり、ダムごとに異なっている。一方で、各ダムにおける流木量は、ダムの年最大流入量との関係を用いて推定することを基本としており、推定した流木量の信頼性を向上させるためには、単年で発生した流木量を、統一した測定方法で管理していくことが重要である。

なお、ダムは、流木を捕捉することにより、下流河川の流木被害を未然に防止している効果を備えており、流木量の正確な測定は、その効果を定量的に示すツールとしても重要である。

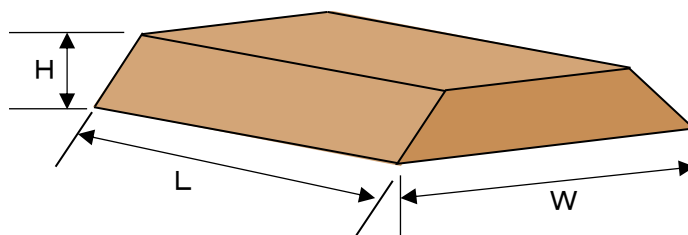
(2) ダム貯水池流入流木量測定方法

ダム貯水池流入流木量の測定方法は、各ダム固有の事情から、やむを得ない場合を除き、陸揚げ後に定形に積み上げた状態で体積測定するものとし、空隙率を含んだ体積を、ダム貯水池流入流木量として管理する。

流木の積み上げによる測定は、回収した流木の構成(枝・幹・草等)や、流木の処分方法によって異なることから、ダムごとに個別に設定し、毎年同じ測定方法で継続して実施する。なお、多くのダムで採用している流木の積み上げ形状は写真 5.1、図 5.1 に示すとおりである。



写真 5.1 ダム貯水池流入流木量測定の代表例



※積み上げ高さは1～2mとしているダムが多い

図 5.1 ダム貯水池流入流木量測定の代表例

また、単年でのダム貯水池流入流木量に対し、複数年にわたる作業を実施する場合には、測定方法や記録の管理に留意し、単年ごとの流木量を把握する必要がある。このような場合には、回収に先立って当該年にダム貯水池に流入した流木量の全量を把握しておくことが望ましい。

回収前に流木量の全量を把握する方法としては、空中写真撮影により貯水池内における流木の分布面積を把握する方法が挙げられる。近年では、無人航空機 (UAV: Unmanned Aerial Vehicle) の小型化・汎用化が進み、従来の航空写真撮影に比べて安価な空中写真の撮影が可能となっている。撮影した写真から貯水池に浮遊する流木の面積を把握し、これに回収時に測定する浮遊流木の厚みを乗じることにより、単年でのダム貯水池流入流木量を把握することが可能となる。



写真 5.2 貯水池流入流木の撮影例

6. 流木処理

ダム貯水池で回収される流木の処理については、関係法令等により適切に実施するとともに、地域や関係機関と連携を図り、可能な限り有効に活用することとする。

【解 説】

(1) ダム貯水池流入流木の取扱い

ダム貯水池で回収される流木については、有価物か無価物の判断が必要であり、その判定にあたってはダム貯水池が所在する市町村に確認する必要がある。

有価物の場合は、市町村に引渡し、市町村が保管することとなっている。

無価物の場合は、その流木の処分方法（有効活用又は廃棄処分）についても、市町村に確認を行うものとする。その際、循環型社会形成推進基本法では、廃棄物を循環的に利用が行われることを促進しており、有効活用を前提とした処理方策を事前に検討しておく必要がある。

また、無価物として廃棄物処理する場合の廃棄物としての区分は、一般廃棄物に分類される。流木を一般廃棄物として処理するにあたっては、「廃棄物の処理および清掃に関する法律」や同法の施行令、施行規則を遵守することとする。同法において、焼却処理により自家処理・減量を行う方法と、一般廃棄物の収集運搬許可者、処理業者の許可業者に委託処理する方法が示されている。

※有価物としての流木は、水難救護法に規定する「漂流物」として位置付けられる。

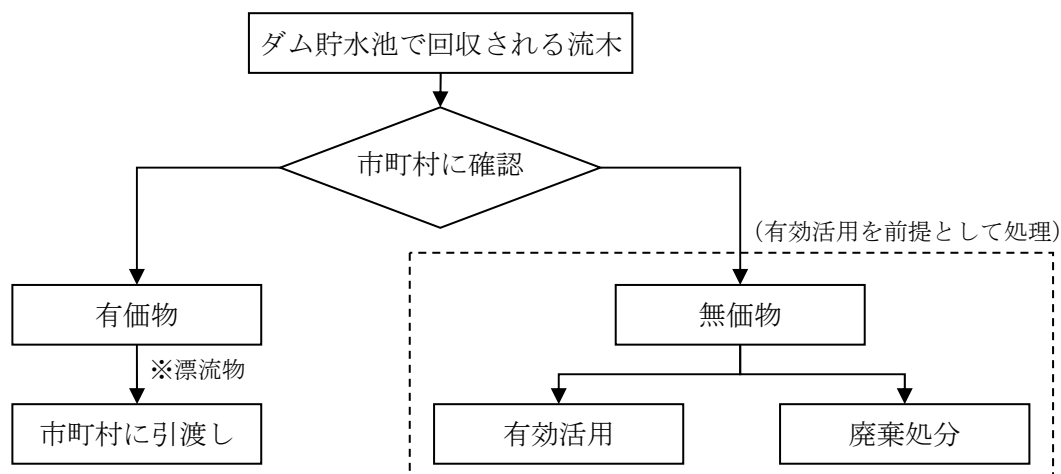


図 6.1 流木処理の概念図

(2) 有効活用する場合の留意点

一般廃棄物について、廃掃法では、「市町村長は多量の廃棄物を生ずる土地又は建物占有者に対して当該廃棄物の減量に関する計画作成、当該一般廃棄物を運搬すべき場所等を指示することができる」とされている。

このため、ダム管理者は、流木有効活用方法について、関連する市町村に事前に説明しておくこととする。

【関連する法令】

基本的な法令等は以下に示すものであり、流木の処理方法によっては、関連する法令等は以下に限定するものではない。

- ① 環境への負荷低減、廃棄物の循環利用について
循環型社会形成推進基本法第七条等
- ② 漂流物としての取り扱いについて
水難救護法第二十四条・第二十五条
- ③ 一般廃棄物の市町村の処理等について
廃棄物の処理および清掃に関する法律第六条
- ④ 一般廃棄物の委託処理について
廃棄物の処理および清掃に関する法律施行令第四条
- ⑤ 流木の焼却処分について
廃棄物の処理および清掃に関する法律施行規則第一条

(3) 有効活用の方法

1) 基本的な考え方

流木は、ダム周辺地域の一般者へ無償配布することで資源再利用の普及、啓発に寄与する効果が得られることや、バイオマス発電における燃料への適用など、新たな分野への活用を試みることで技術開発に繋がることがあり、処分費用の削減以外にも種々の効果が期待できる。ただし、ダム周辺の流木の需要先における受入れ可能量や、有効活用するための処理に要するコストはダムごとに異なることから、技術的、経済的に許容する範囲内で、できるだけ有効活用する方法を検討するものとする。

2) 流木の分別

ダム貯水池で回収した流木には、ゴミや土砂が混入していることから、有効活用する場合には、分別作業を行う必要がある。分別する方法としては、人力作業（写真 6.1 左）による方法のほか、スケルトンバケットやフォーク型のアタッチメントを搭載したバックホウを使用する方法（写真 6.1 右）がある。



写真 6.1 一般的な流木の分別作業

大規模洪水時に土砂とともに流下する流木では特に、流木と土砂の分別作業が必要となる。流木と土砂の分別は、写真 6.2 に示すスケルトンバケットを搭載したバックホウを使用するほか、写真 6.3 に示す回転式選別機を使用することにより、作業の効率化を図ることができる。回転式選別機は、円回転を利用して対象物をふるい分けするものであり、破碎機で流木をチップ材にした後でも使用することができる。破碎機と同様の移動式タイプや、バックホウのアタッチメントとして使用するタイプがある。



写真 6.2 スケルトンバケットを搭載したバックホウによる分別作業



※移動式のもの（左写真）や、バックホウのアタッチメントとなるタイプがある

写真 6.3 回転式選別機（トロンメルの使用例）

3) 一般的な有効利用

一般的な流木の有効活用方法について、以下に示す。

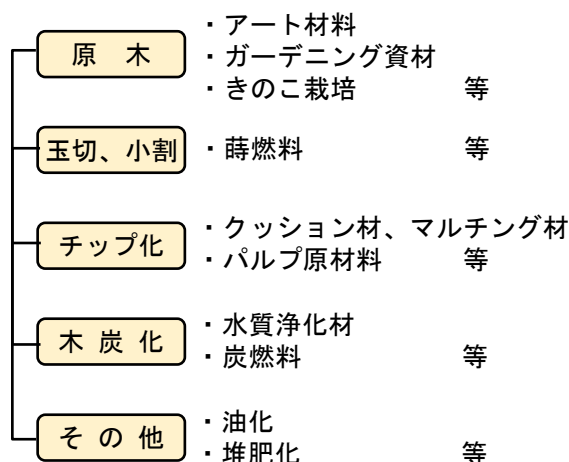


図 6.2 流木の一般的な有効活用方法

チップ化等の処理をせず、原木の状態で有効利用する場合は、広く一般者に配布するため、ダム管理者自身のホームページでの情報発信（常時引渡し、定期開催イベント等の案内）や、ダム近傍の自治体のホームページ、広報誌に掲載を依頼するなどの広報活動が重要である。

チップ化等の加工品の需要先としては、パルプ工場や堆肥工場などがあり、ダム近傍の需要先における流木受入れ可能量などを調査する必要がある。また、需要先によっては、枝・根株や、土砂・石が混入しないこと、炭化が進んでいないことなどの要求事項があることから、ダム貯水池で回収した流木の事前処理についても確認し、需要先としての採用可否を判断する必要がある。

4) 最新技術の動向を踏まえた有効活用

ダム貯水池で回収した流木の有効活用を推進していくためには、前述の一般的な有効活用方法だけでなく、最新技術の動向にも留意し、新たな活用方法を検討していくことが望ましい。

ダム貯水池で回収した流木の利用実績のある事例のひとつとして、流木をバイオマス発電燃料の原材料として利用する方法がある。木質バイオマス発電は、再生エネルギー活用の観点から、全国的に増加する傾向にあり、ダム近傍でバイオマス発電施設がある場合は、流木の需要先のひとつとして採用することも可能である。なお、流木をバイオマス発電燃料の原材料として提供するにあたっては、流通ルートや、必要となる流木の事前処理について把握し、関係する機関と協議するなど、各ダムで採用の可否を検討する必要がある。

コラム：流木の一般者への無償配布事例

流木の一般者への無償配布は、原木の状態や、玉切・小割程度の簡易な処理をした状態で流木を処理できるとともに、地域での資源再利用の普及、啓発に効果が期待できるため、有益な流木処理の方法であるといえる。

以下に示す写真は、事例の一部である。九頭竜川ダム統合管理事務所では、流木をアート材として積極的に利用しており、「流木アートコンテスト」を開催し、ホームページに掲載している（写真 6.4）。

また、石手川ダムでは、ダム周辺の住民から要望があることから、薪材などとして流木を提供している（写真 6.5）。



写真 6.4 九頭竜川ダム統合管理事務所における「流木アートコンテスト」の作品例



写真 6.5 石手川ダムにおける流木の無償配布の状況

(4) 大規模流木量に対する留意事項

大規模洪水における流木量に相当するような流木が一度に発生すると、通年規模の流木処理と同様の方法では流木の有効活用ができないことが想定されるが、一方で大量の流木を提供できることにより需要先が拡大する場合もある。このため、以下に示す事例（地域との連携、民間活力の活用等）を参照し、非常時の対応策として大量の流木処理に係わる方法を事前に検討しておくことが望ましい。

【事 例】

① 矢作ダム

平成 12 年に発生した東海豪雨の影響で、約 35,000m³の流木が貯水池に流入した矢作ダムでは、流木の引き揚げ当初から、作業の進捗情報を随時マスコミに発表するなど、幅広く情報提供を続け、流木を製紙用パルプ材や、肥料等として資源化处理することにより資源の有効活用、廃棄物処分コストの大幅削減を図った。

資源化处理するにあたっての流木加工方法としては、9 割がチップ化であり、残りは丸太や薪材として処理している。チップ化した流木の受取り先としては、約 7,000m³が一般公募による製紙関連会社等への売却、約 20,000m³が肥料関連会社の引取りであったとされている。

なお、矢作ダムにおける通常年の流木処理は、近隣の NPO と協力し、流木を炭焼き処理する方法が採用されている。

	
現地での破碎処理（チップ化）	大型流木小割
	
丸太、薪材への加工	再利用施設への運搬

写真 6.6 流木を事前処理している状況の写真

② 二風谷ダム

二風谷ダムでは、平成 15 年 8 月に発生した台風 10 号による記録的な豪雨に伴い、ダム貯水池に約 55,000m³に及ぶ大量の流木が流入した。通常年であれば、回収流木は 1,000m³程度であり、このうち 6 割を平取町の一般者へ無償配布し、3 割を一般廃棄物処理するなどしていたが、当該年はこの処理方法では対応できないことから、産官学の有識者で構成する「流木処理調査検討委員会」を設立し、大量の流木を有効活用する方法について検討した。

この結果、流木加工・処分を含めた流木処理を民間企業に委託することとし、流木処理工事を総合評価落札方式で発注している。平成 15 年 8 月における流木の発生から、流木処理工事の落札業者決定までの過程を図 6.3 に示す。

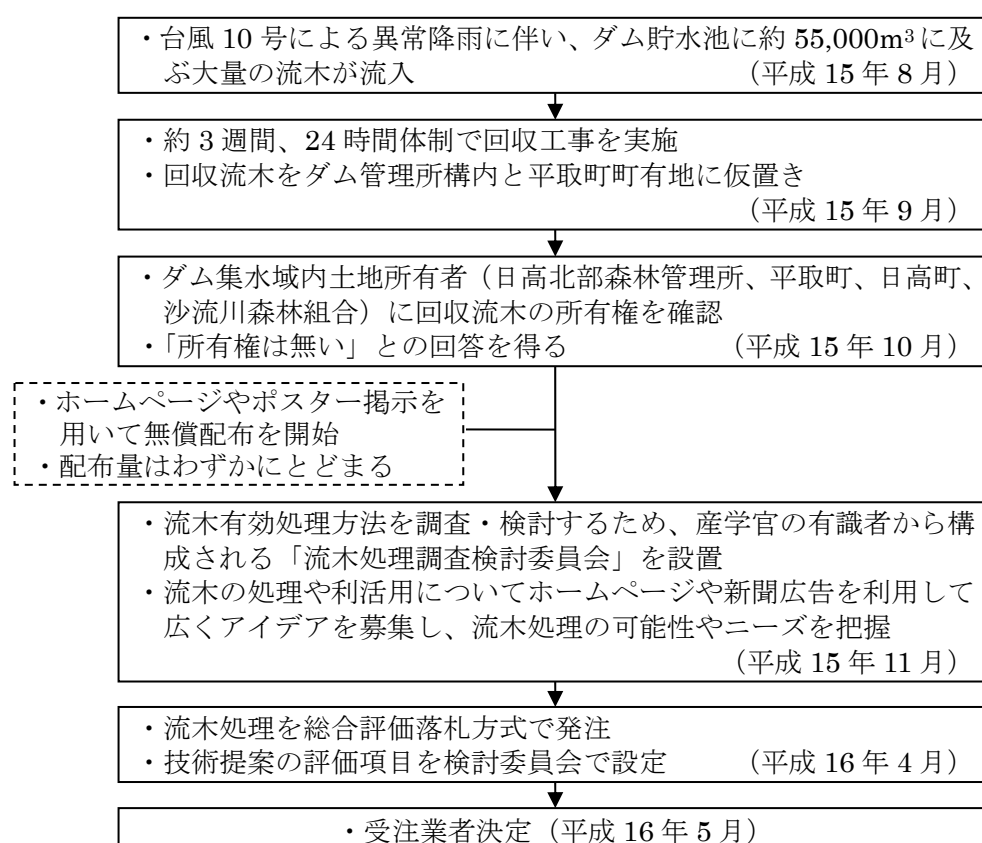


図 6.3 流木の発生から流木処理工事の落札業者決定までの流れ

実際の流木処理工事の結果として、ほとんどの流木を資源として処理し、廃棄物処分となった流木はごくわずかであった。資源として処理を実施した内訳としては、15%が選別・玉切して丸太材とし、75%が現地破碎によりチップ材、10%が腐葉土として土壌改良材等に利用されている。実際に行われた流木処理工事の内容を図 6.4、写真 6.7 に示す。腐葉土混りの流木については、回転式選別機（トロンメル）により腐葉土と流木に分別する作業を実施している。これらの流木処理工事は、ダム貯水池に大量の流木が流入した翌年の 5 月から 11 月にかけて実施されている。

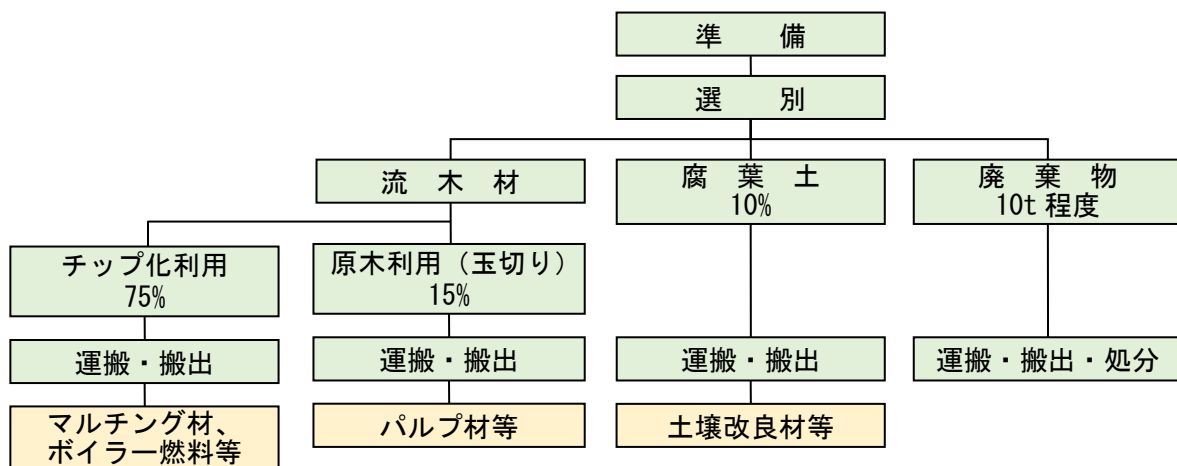


図 6.4 流木の有効活用例



写真 6.7 流木の事前処理状況

【参考文献】

- 1) 「ダム湖に流入した倒木の資源化で処理経費を大幅削減」 POTARL 2002 年 11 月（河川情報センター）
- 2) 「二風谷ダム流木処理工事における総合評価落札方式」 北海道開発局技術研究発表会発表論文集 2005.02

7. 流木のモニタリング調査

流木のモニタリング調査は、流木量の推定に関する知見を蓄積するとともに、ダム上流域の関係機関と連携することを目的として行うものであり、流木量の測定、流木の発生源に関する調査等を含むものである。

【解 説】

(1) 基本的な考え方

各ダムにおける流木量は、これまでの実績値を基に推定するものであり、推定の精度を向上させ、的確かつ効率的な流木対策を検討していくためには、適切な測定方法を定めることにより、正確な記録を蓄積していく必要がある。

また、流木の発生源に関する調査は、特に大規模な洪水に伴って発生する流木量の推定方法の検討や、ダム上流域の関係機関との連携を検討していくうえで重要である。

このため、本手引きでは、集積した流木を対象としたモニタリング調査として、流木量を測定する方法や、発生源に関する調査の方法について記載している。

(2) 流木量の測定

通年規模の流木量は、ダムの年最大流入量との関係を用いて推定することを基本としていることから、推定値の精度を向上させていくためには、単年で発生した流木量をできるだけ正確に測定することが重要である。また、ダムの特性と流木量の関係を精度良く分析していくためには、ダム間で統一した方法で流木量を測定することも重要である。

このため、本手引きの 5.2 節では、ダム貯水池流入流木量の測定方法についての基本事項を記載している。

(3) 流木の発生源に関する調査

ダム貯水池に流入する流木の発生源に関する知見を得るためには、流木が発生した時期や場所に関する情報を把握し、得られた情報を基に、流木の発生源を推定し、該当する上流域の関係機関と連携していくことが重要である。ここでは、集積した流木を対象とし、専門的な知識がなくとも、目視で簡易に判定できる情報を対象とし、その調査方法を記載する。

ダム貯水池で回収した流木の発生場所が、崩壊地上（溪岸侵食含む）の立木であるか、除伐材・間伐材であるかの区分は、根や人工的な切断面の有無を目視調査で判定することにより可能となる。また、流木が発生した時期については、腐食の進行具合を目視で確認することにより新旧を区分することが可能である。これらの目視調査による判定基準を表 7.1 に示すとともに、調査の結果により得られる発生源の情報について、図 7.1 に示す。

表 7.1 調査判定基準

分 類		判定基準
区分A	区分B	
崩壊地上（溪岸侵食含む）の立木が発生源とされる流木  自然倒木（断面なし）  自然倒木（破断面のみ）	発生時期が新しい  新しい流木	①+⑤あるいは②+⑤が該当
	発生時期が古い  古い流木	①+④あるいは②+④が該当
除伐材・間伐材が含まれる流木  伐採木（古い切断面あり）	発生時期が新しい  新しい流木	③+⑤が該当
	発生時期が古い  古い流木	③+④が該当

判定指標

- | | | |
|-------------|--------------|----------|
| ① 根がついている | ② 折れた木である | ③ 切断面がある |
| ④ 腐食が進行している | ⑤ 腐食が進行していない | |

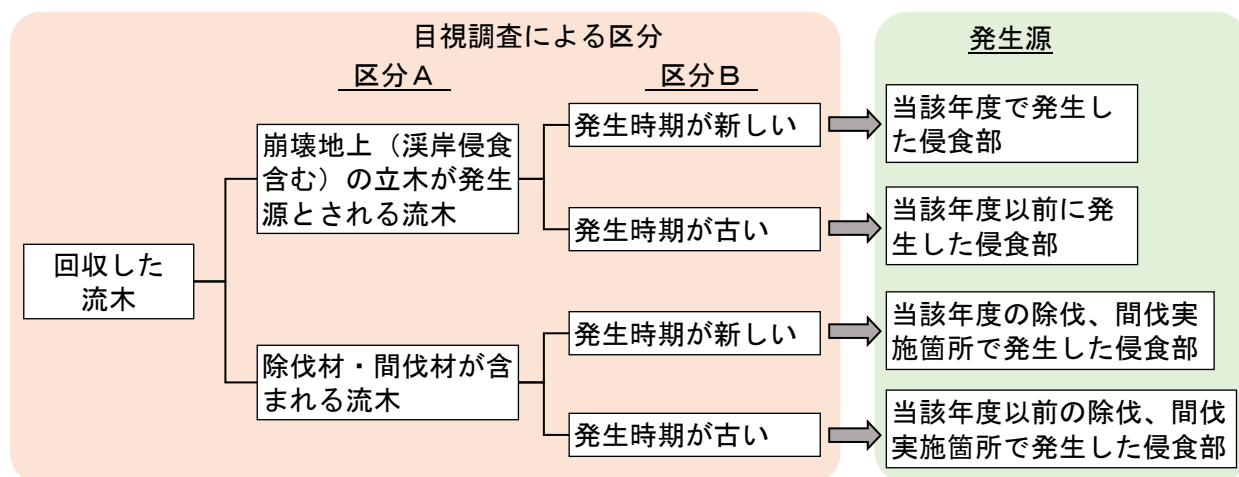


図 7.1 簡易な調査により判定する流木の発生源の区分

表 7.1 に示すような調査を実施した直近の事例としては、平成 29 年 7 月に発生した九州北部豪雨に伴う山地災害に関する調査があり、福岡県朝倉市などの森林地域において、渓流域に堆積している流木を対象とした調査が実施されている。この調査では、確認された流木のほとんどが根付きの状態のものであり、間伐後に存置されていた丸太等はほとんどなかったとされている³⁾。

表 7.1 に示す区分のほか、流木の樹種を目視で判定することができれば、流木の発生場所がダム上流域の山地であるか、河道内の河畔林であるかを絞り込むことができる。ただし、河畔性樹種と山地性樹種の区分は、各ダムの流域における植生分布に関する知見や、専門的な判断を要することもあり、適用にあたっては留意する必要がある。

以下では、流木の発生源についての調査、分析を実施した事例を学術文献から抽出し、その概要を記載する。

足羽川流域の例（平成 16 年 7 月福井豪雨）⁴⁾

平成 16 年 7 月に発生した福井豪雨は、九頭竜川水系の足羽川流域に集中した豪雨であり、上流の美山町で最大 1 時間雨量 88mm、日雨量 285mm を記録し、福井県内に甚大な被害をもたらした。豪雨後の調査結果により、足羽川の支川及び本川域に材積で約 3,100m³の流木が発生し、このうち約 2,000m³の流木が足羽川下流に流出し、橋梁を閉塞させるなど、洪水被害拡大の要因となっている。

福井豪雨における流木発生形態は、図 7.2 に示すとおりであったとされており、溪岸や河川の横侵食によるものが大部分を占め、特に河川侵食による割合が大きい。また、最終的に下流域に流出した流木の大部分は、渓流部ではなく河川域から流出した流木であり、洪水被害拡大の主な要因は、河岸侵食に伴って発生した流木であったと推定されている。

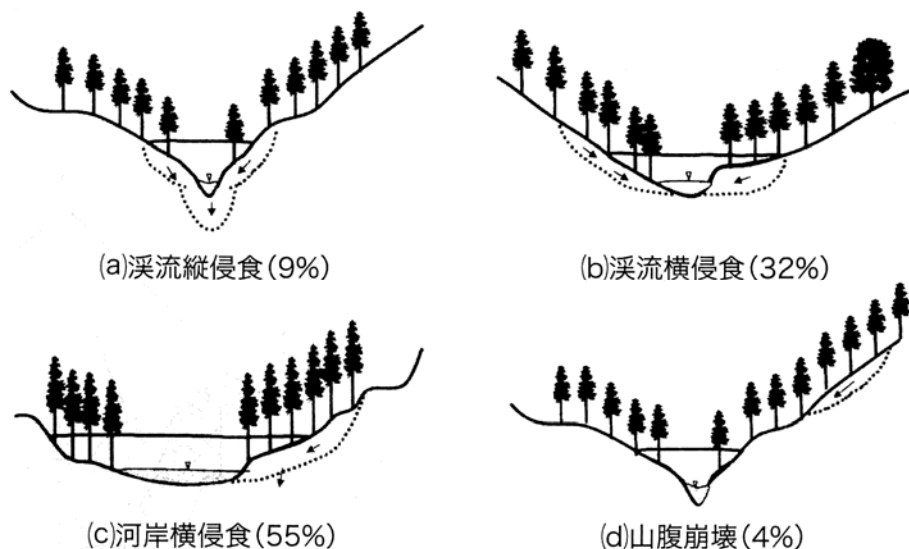


図 7.2 福井豪雨における流木発生形態

沙流川流域の例（平成 15 年 8 月台風 10 号）⁵⁾

平成 15 年 8 月に発生した台風 10 号は、北海道胆振地方の東端に位置する沙流川流域で記録的な豪雨をもたらし、流域平均総雨量は 320mm に達した。この降雨に伴い、大量の流木が発生し、河口から 21.4km に位置する二風谷ダムでは 50,000m³を超える流木が流入した。ダムによる流木捕捉効果により、ダム下流における流木災害はほとんど発生しなかったが、ダム上流域の河川では、河道内や橋梁の橋脚に大量の流木が堆積し、支川では橋桁の一部が流失するなどの災害が発生した。

北海道開発局では、沙流川河道内に堆積した流木を対象に発生源に関する調査を実施している。この調査では、堆積した流木を河畔性樹種（代表樹種をヤナギ類とする）と山地性樹種（代表樹種を針葉樹とする）に区分しており、樹種の判別ができなかったものを除き、図 7.3 に示す結果を得ている。

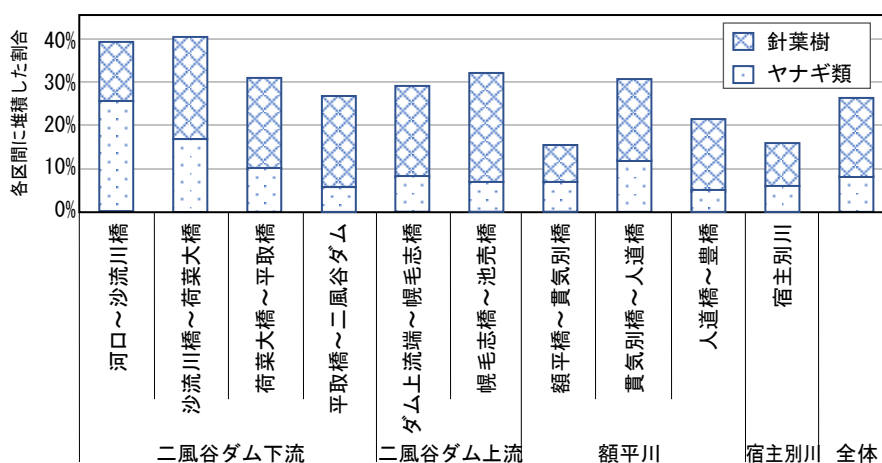


図 7.3 台風 10 号に伴い沙流川河道内に堆積した流木の発生源調査結果

これによると、河口付近を除いて山地性樹種である針葉樹が多いことがわかる。激しい降雨に伴い山腹斜面で崩壊が発生し、溪流付近で発生した斜面崩壊が樹木を土壌ごと流出させ、溪流の水位上昇とともに下流河川へ流木を流出させたと推定されている。

これらの事例から、足羽川では河岸侵食が懸念される範囲の関係機関、沙流川流域では斜面崩壊の危険性が高い溪流付近の関係機関とそれぞれ連携していくことが重要であることが示唆される。

【参考文献】

- 1) 「H12_9 東海豪雨による流木の調査」河川技術論文集 2002.06 森田実, 田中茂信, 高橋洋一
- 2) 「ダム貯水池における流木流入災害の防止対策検討調査 報告書」2007.03 林野庁森林整備部, 国土交通省河川局
- 3) 「「流木災害等に対する治山対策検討チーム」中間とりまとめ」 2017.11 林野庁
- 4) 「2004 年福井豪雨における九頭竜川上流ダム群の洪水調節効果」 大ダム No.198 2007.03 角哲也, 谷崎保
- 5) 「出水に伴い発生した流木の影響」河川技術論文集 2004.06 鈴木優一, 渡邊康玄

《巻末資料》

1. ダム貯水池流入流木大量発生時の対応事例	51
1.1 矢作ダム（平成 12 年）の事例	51
1.2 二風谷ダム（平成 15 年）の事例	60
（参考）災害復旧事業に関する通知について	70
2. 流木が要因となったダム施設の被災事例	71
3. 網場の効果的な配置・運用事例	72
3.1 長安口ダムの事例	72
3.2 天ヶ瀬ダムの事例	73
3.3 四十四田ダムの事例	74
3.4 矢木沢ダムの事例	75
3.5 二瀬ダムの事例	76
4. ダム貯水池流入流木の有効活用事例及び最新の技術動向	77
4.1 有効活用の現状	77
4.2 原木等の有効活用事例	78
4.3 チップ材の有効活用事例	79
4.4 木炭化処理の事例	80
4.5 木質バイオマス発電燃料への活用	82
4.6 亜臨界水反応技術を用いた肥料・飼料への活用	85
5. ダム貯水池流入流木に関連する法令等	88
5.1 流木の取り扱いについて	88
5.2 流木の仮置きについて	95
6. ダムによる流木捕捉効果の定量的把握手法	98
6.1 流木災害の発生要因とダムによる流木捕捉効果	98
6.2 流木捕捉効果の算定方法	102
6.3 流木捕捉効果算定例	111
6.4 【事例】寺内ダムにおける流木捕捉効果	120
7. 関連資料の抜粋	122

1. ダム貯水池流入流木大量発生時の対応事例

本章では、手引き本編で示した「大規模洪水における流木量」に相当する流木に対応した事例として、矢作ダム（平成 12 年）、二風谷ダム（平成 15 年）で実施された流木の捕捉から処理までの各工程について記載する。なお、双方の事例とも、災害復旧事業として対応したものである。

1.1 矢作ダム（平成 12 年）の事例

1.1.1 流木の発生状況

矢作ダムでは、平成 12 年 9 月 11 日から 12 日にかけて愛知・三重・岐阜などの東海地方を中心に発生した豪雨（東海豪雨）の影響により、上流域で斜面崩壊等による土砂災害が多発し、ダム貯水池に平常年の 80 年分に相当する約 35,000m³の流木が流入した。

1.1.2 対策工事の発注時期

矢作ダムでは、平成 12 年に発生した大量の流木に対し、表 1.1 に示す対策工事で対応している。ダム貯水池における流木の回収から仮置きまでの作業は、主に当該年度に実施しているが、仮置きヤードでの処理や処分先まで運搬は、翌年・翌々年度も継続して実施されている。

表 1.1 矢作ダム流木対策工事一覧

工事名	工事内容
平成 12 年度緊急流木処理工事	流木回収・陸揚げ・集積 V=1,595m ³
平成 12 年度矢作ダム上流域流木災害復旧工事	流木回収・陸揚げ・集積 V=5,400m ³ 流木処理（破砕） V=3,800m ³
平成 12 年度矢作ダム上流域流木除去工事	流木回収・陸揚げ・集積 V=5,168m ³ 丸太製作 V=8m ³
平成 12 年度矢作ダム下流域流木災害復旧工事	流木回収・陸揚げ・集積 V=2,995m ³
平成 12 年度矢作ダム中流域流木除去工事	流木回収・陸揚げ・集積 V=7,440m ³ 流木処理（破砕） V=192m ³ 大型土嚢詰
平成 12 年度矢作ダム中流域流木災害復旧工事	流木回収・陸揚げ・集積 V=6,850m ³ 流木処理（破砕） V=5,996m ³
平成 13 年度矢作ダム上流域流木処理工事	流木処理（破砕・運搬） V=6,037m ³
平成 13 年度矢作ダム下流域流木処理工事	流木処理（破砕・運搬） V=5,448m ³
平成 14 年度矢作ダム流木処理工事	流木処理（破砕・運搬） V=1,300m ³

1.1.3 流木の回収

流木の回収は、複数の方法で実施されている。

(1) 集積用簡易網場を用いた浮遊流木の回収

ダム貯水池で浮遊状態にある流木は、写真 1.1 に示すように、集積用簡易網場で連結した二隻の作業船により回収し、湖岸に集積している。作業船のほか、パワーレーキ式の作業船も配置されており、補助的な作業を実施している。

[作業船と集積用簡易網場による回収]



[パワーレーキ式の作業船による補助的な作業]



写真 1.1 集積用簡易網場による流木回収状況

(2) 台船上のクレーンを用いた沈木等の回収

ダム貯水池内の沈木は、写真 1.2 に示すように台船上のクレーンを用いて回収が実施されている。

〔クレーン台船〕



〔沈木の引上げ〕



〔運搬用台船〕



写真 1.2 台船上のクレーンによる流木回収状況

(3) バックホウを用いた陸上部での回収

ダム貯水池の上流端や、ダム貯水池斜面に残留した流木に対しては、バックホウによる回収が実施されている。バックホウにより回収した流木を搬出するにあたっては、貯水池進入用の坂路がない箇所ではダンプトラックの走行が困難なこともあり、写真 1.3 に示すように不整地運搬車を使用している。



写真 1.3 バックホウによる流木回収状況

(4) 回収方法のまとめ

矢作ダムにおける流木の回収方法について、表 1.2 に整理した結果を示す。貯水池内で沈下した流木の回収や、貯水池末端や湖岸にある流木の回収は、浮遊している流木の回収と比較して作業効率が低く、単体量当たりの回収コストも大きかったとされている。

大量の流木を効率よく処理するためには、できるだけ浮遊状態にある流木を集積用簡易網場により回収することが望ましく、洪水後の貯水位低下前や、年間貯水池運用のなかで貯水位が高い時期に回収することが必要となる。

表 1.2 平成 12 年矢作ダムにおける流木・陸揚げ方法のまとめ

種 別	浮遊している流木	沈下した流木	貯水池末端や湖岸にある流木
作業内容	集積用簡易網場による回収 ↓ 湖岸での陸揚げ	クレーン台船による回収 ↓ 土運船による運搬 ↓ 湖岸での陸揚げ	バックホウによる回収 ↓ 不整地運搬車による運搬 ↓ 湖岸でダンプトラックに積み替え
全流木量に対する割合	大	小	小
単体量当たりの回収コスト	小	大	大
作業速度	大	小	小

1.1.4 流木の陸揚げ

流木の陸揚げは、湖岸に配置されたバックホウあるいはクレーンにより実施されている。陸揚げ時のバックホウのアタッチメントとしては、写真 1.4 に示すように、ストレンジャーバケット、スケルトンバケットが採用されている。

〔バックホウによる陸揚げ〕



〔クレーンによる陸揚げ〕



〔陸揚げした流木の搬出〕



写真 1.4 流木陸揚げ及び積み込み状況

1.1.5 流木の集積（仮置き）

表 1.1 で示した各工事で回収・陸揚げされた流木は、図 1.1 に示すとおり 4 箇所の仮置きヤードに運搬されている。

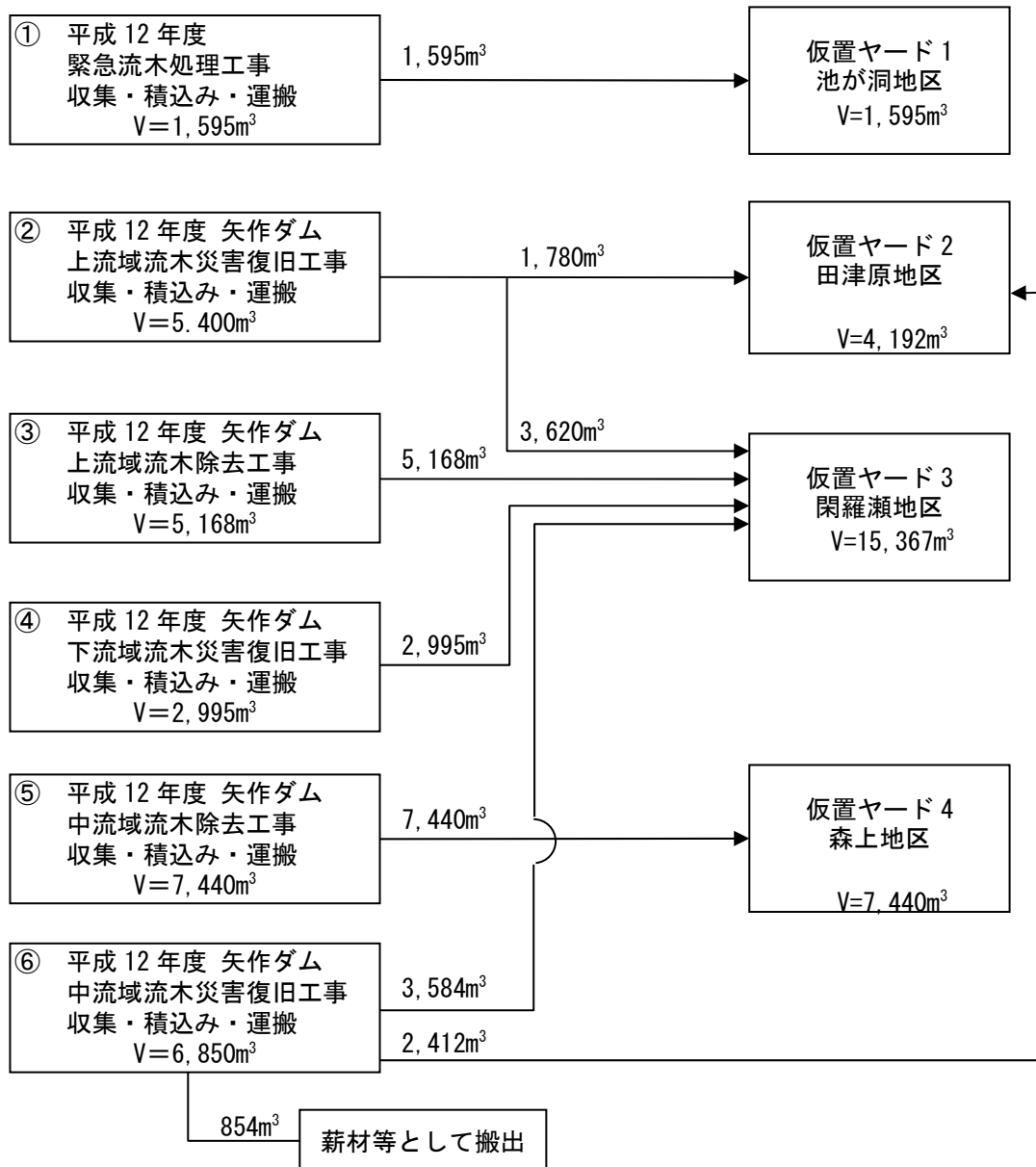


図 1.1 回収・陸揚げされた流木の運搬先

これらの仮置きヤードは、地元の協力により造成したものとされており、図 1.2 に示す配置となっている。



図 1.2 仮置きヤードの位置

1.1.6 流木処理

矢作ダムでは、貯水池で回収・陸揚げした流木について、その大部分を有効活用したことにより、処分費を大幅に削減している。当時の取組みについて、概要を以下に示す。

- ・ 流木の陸揚げ開始時点から、作業の進捗情報を随時マスコミに発表するなど、幅広く情報提供を続けた。
- ・ 仮置きした流木は、再利用可能な流木を選別、小割りし、再利用施設へ運搬したものや、仮置きヤードに破碎機械を配置し、チップ化した後に運搬したものがある。
- ・ 回収・陸揚げした流木の加工方法としては、破碎によるチップ化処理が 9 割以上を占めた。小割りした状態で運搬し、再利用施設等でチップ化したものと、仮置きヤードに配置した破碎機械によりチップ化し、チップ材の状態で運搬したものがある。

上記の結果、流木の全量を廃棄物処理した場合と比較し、約 4 億 5,900 万円のコスト縮減効果があったとされており、その主な内訳は以下のとおりであった。

- ・ 平成 13 年度末までに、約 7,000m³を一般公募で売却し、流木を買い取った製紙関連会社が運搬費、処理費を負担した。これにより、1 億 1,900 万円のコストを縮減した。
- ・ 約 20,000m³の流木は、ダム管理所で破碎によるチップ化処理を実施し、肥料などとして有効利用した。これにより、2 億 6,000 万円のコストを縮減した。
- ・ 約 300m³の流木は、周辺の一般者にチップ材やゲートボール場の暖房用薪として配布した。
- ・



写真 1.5 仮置きヤードで集積された流木

表 1.3 破碎・加工状況写真

	
現地での破碎処理（チップ化）	大型流木小割
	
丸太、薪材への加工	再利用施設への運搬

【参考文献】

- 1) 「ダム湖に流入した倒木の資源化で処理経費を大幅節減」 PORTAL No.19 2002 河川情報センター

1.2 二風谷ダム（平成 15 年）の事例

1.2.1 流木の発生状況

二風谷ダムがある沙流川流域では、平成 15 年 8 月 3 日に発生した台風 10 号の通過に伴い、山間部で一日の降雨量が年間平均の 1/3 に迫る地点や、総降雨量が 400 mmを超える地点がみられるなど、記録的豪雨が発生した。この降雨に伴う出水により、山間部等から大量の流木が発生し、ダム上流の河道内や橋梁の橋脚等に堆積するとともに、二風谷ダム貯水池でも約 55,000m³に及ぶ流木が流入した。

1.2.2 流木の回収・陸揚げ

二風谷ダムでは、大量に発生した流木により網場が切断されたため、堤体の損傷やゲートの閉塞が発生する危険性が高まっていたことから、災害復旧事業として 24 時間 3 交代の作業体制を構築し、流木の回収・陸揚げを実施している。流木の回収は、集積用簡易網場を用いた方法で実施し、陸揚げはダム湖の左岸・右岸・堤体付近の 3 か所でクレーンやクラムシエル、バックホウ等を用いて実施している。これらの作業により、約 3 週間でダム貯水池内流木の撤去を完了させたとしている。



図 1.3 流木の回収・陸揚げの状況¹⁾

1.2.3 流木の集積（仮置き）

回収・陸揚げした流木の仮置きヤードとしては、ダム管理所構内と平取町町有地の2箇所を確保している。

ダム管理所構内の仮置きヤードでは、図 1.5 に示すようにチップ材の飛散防止と防音壁の用途を兼ねた万能鋼板、進入防止用の立ち入り禁止柵を設置している。



図 1.4 流木仮置きヤード位置図

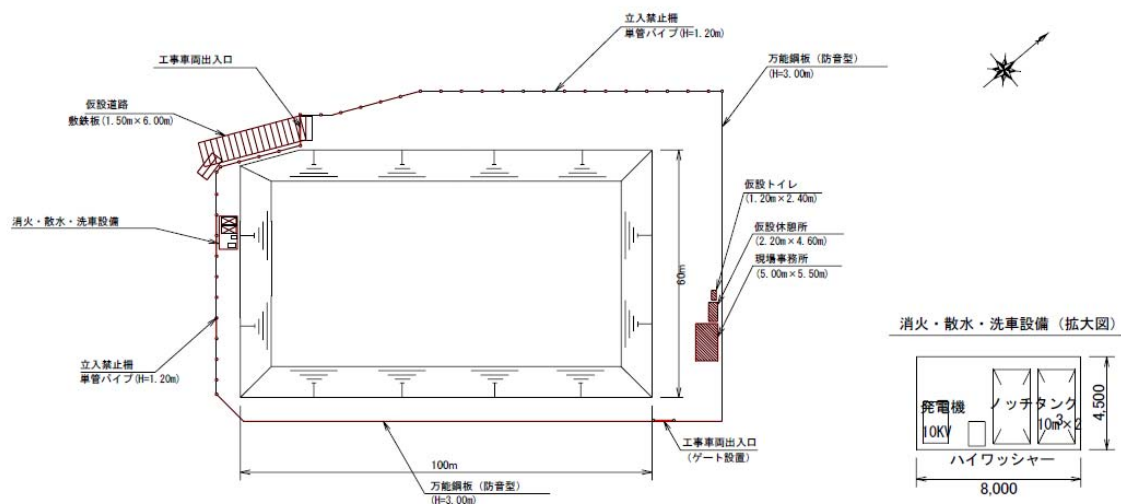


図 1.5 ダム管理所構内の仮置きヤード計画図

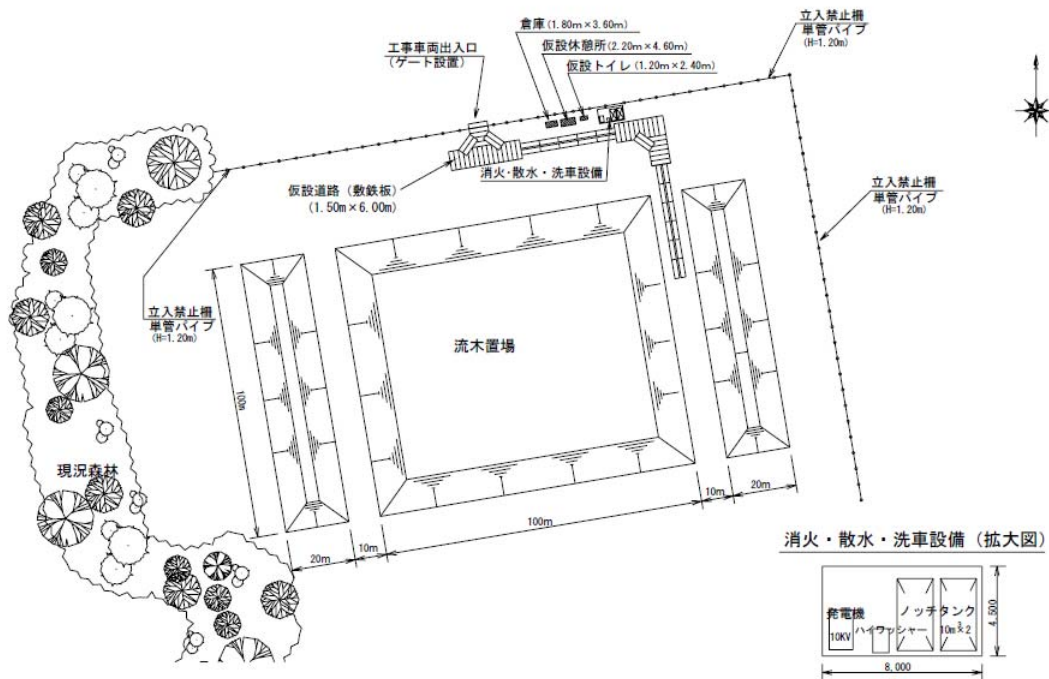


図 1.6 町有地の仮置きヤード計画図

表 1.4 仮置きヤードの状況

	
仮置き状況（ダム地点仮置きヤード）	鋼板仮囲い設置（ダム地点仮置きヤード）
	
仮置き状況（町有地仮置きヤード）	

1.2.4 流木処理

(1) 流木処理工事の発注

二風谷ダムにおける通常年の回収流木は 1,000m³程度であり、このうち 6 割を平取町の一般者に無償配布し、3 割を一般廃棄物処理するなどとしていたが、平成 15 年はこの処理方法では対応できないことから、産学官の有識者で構成する「流木処理調査検討委員会」を設立し、流木の有効活用方法を検討した。この結果、流木の加工・処分を含めた流木処理を、流木処理工事として民間企業に委託することとし、総合評価落札方式で工事を発注している。

当時の二風谷ダムにおける流木処理について、時系列に整理すると図 1.7 に示すとおりとなる。

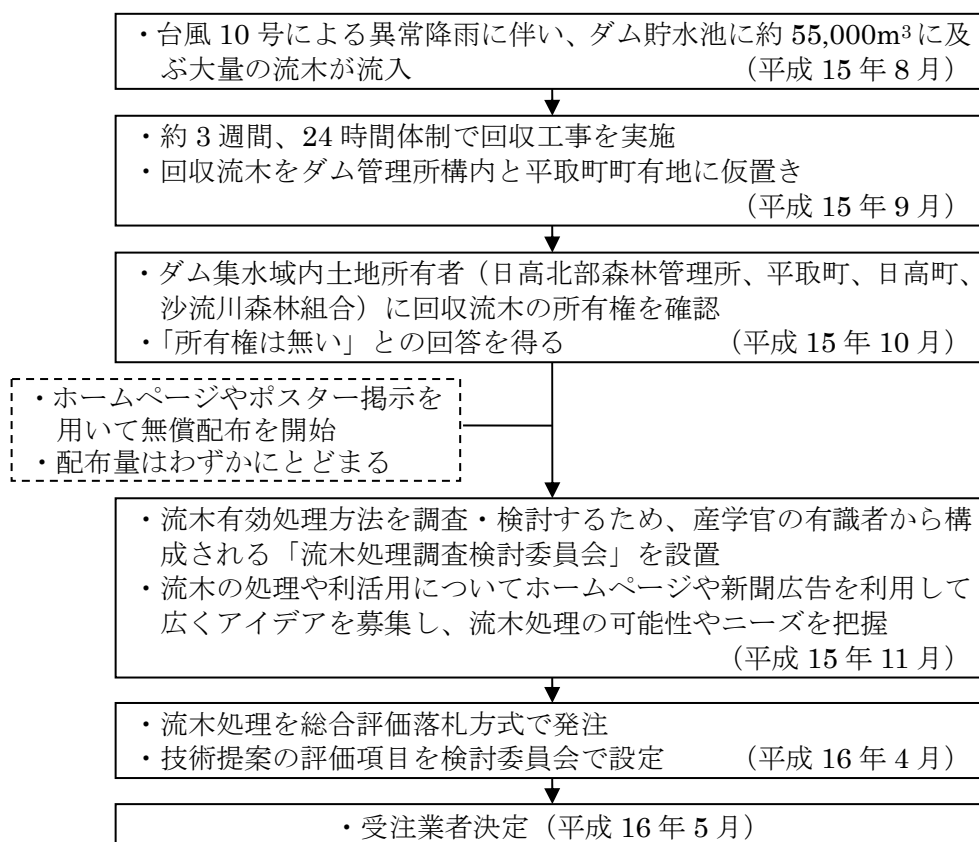


図 1.7 流木の発生から流木処理工事の落札業者決定までの流れ

総合評価の評価項目については表 1.5 に示すとおりであり、項目ごとに重要度を設定したとされている。

表 1.5 評価項目の重み付け

大項目	重要度(A)	小項目	重要度(B)	最終ウエイト
環境負荷低減	0.242	燃料	0.114	0.052
		循環型社会	0.358	0.098
		再利用率	0.528	0.131
地元への貢献	0.541	地元雇用	0.465	0.179
		技術・企業育成	0.229	0.122
		連携性	0.306	0.143
継続的事業	0.218	販路・商品プラン	0.53	0.115
		市場	0.192	0.071
		発展性	0.278	0.089
			計	1

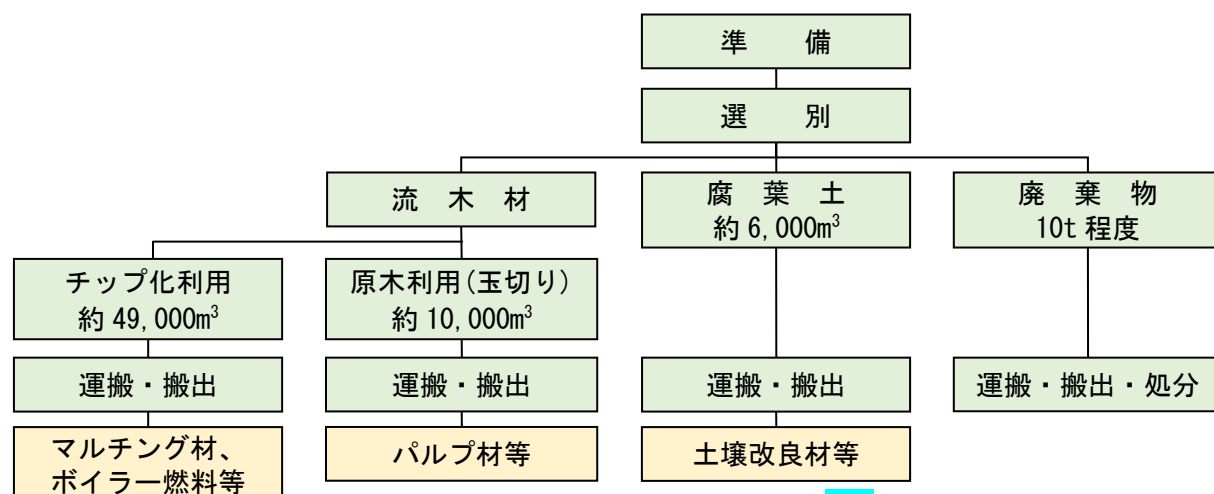
最終ウエイトは $A \times B$ を $\sqrt{\quad}$ で計算し、全体合計が1になるように計算したもの。

また、落札した業者の技術提案は以下のとおりであったとされている。

- ・流木の利用率は 100 %とする
- ・再生利用率は 162 %とする
- ・チップ化したうえで、土壌改良材、マルチング材、糞尿処理補助材、パーティクルボード、製紙工場ボイラー燃料、地元ニーズによる配布等により処理する
- ・原木は、選別したうえで、パルプ材の製造工場等への提供する

(2) 流木処理工事の概要

回収された流木は、以下のとおりに分別され、処理されている。このうち腐葉土混りの流木については、回転式選別機（トロンメル）により腐葉土と流木に分別する作業を実施している（P.68 参照）。これらの流木処理工事は、ダム貯水池に大量流木が流入した翌年の 5 月から 11 月にかけて実施されている。



※ 工程ごとに空隙率が考慮された数値である

図 1.8 平成 15 年二風谷ダムにおける流木の有効活用先

処理作業の概要は以下のとおりである。

【チップ化利用】

流木のチップ化は、図 1.9 に示すとおり、仮置きヤード内に粗破碎機と細破碎機をそれぞれ配置し、実施している。



図 1.9 使用された破碎机（上段：粗破碎机 下段：細破碎机）



写真 1.6 流木破碎状況

〔原木利用〕

原木については、パルプ材の原料としての利用や、一般者への配布のため、所定の長さに玉切りする作業を実施している。対象とする流木を選別し、写真 1.7 に示すようにチェーンソーを用いて流木を切断している。



写真 1.7 流木玉切り状況



写真 1.8 利用する原木の集積状況



写真 1.9 製紙会社への原木の提供

【腐葉土混じりの流木】

腐葉土混じりの流木については、仮置きヤード内でトロンメル（回転式選別機）を用いて分別作業を実施し、分別した腐葉土は壤改良材や堆肥として利用している。

トロンメルは、設置タイプ（写真 1.10）のほか、バックホウアタッチメントに装着するタイプ(写真 1.11)のものも使用されている。



写真 1.10 トロンメルによる選別作業-1



写真 1.11 トロンメルによる選別作業-2

実施された流木処理は、図 1.10 に示すとおりであり、ダム貯水池で回収・陸揚げした流木のうち、廃棄物処理されたものはごくわずかであった。

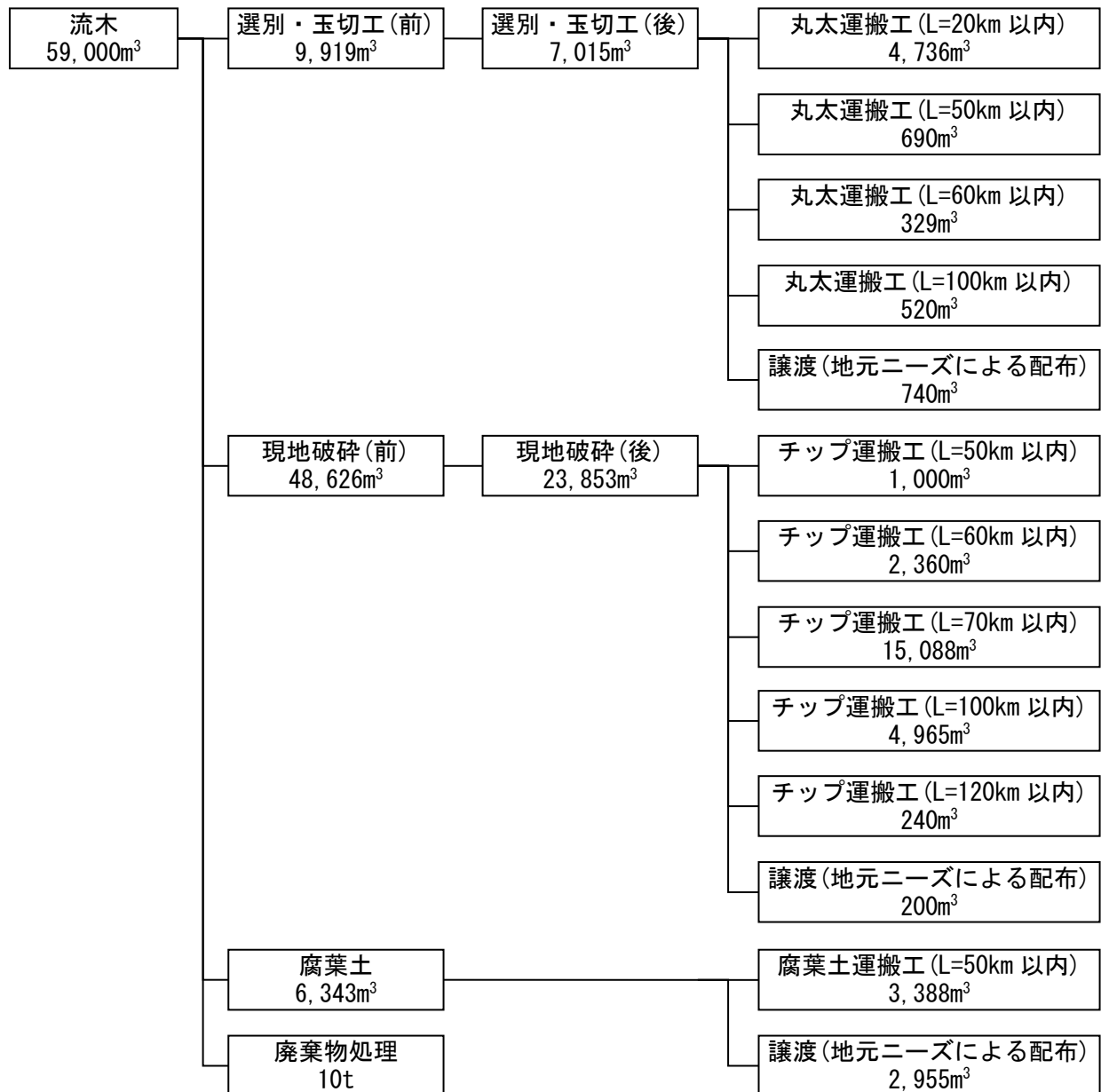


図 1.10 流木処分フロー

【参考文献】

- 1) 平成 15 年 8 月 台風 10 号・流木災害の防止/二風谷ダム ―被害の軽減効果と流木の有効利用― ダム技術 No.250 (2007.7) p.27-30 畑 敏夫

（参考）災害復旧事業に関する通知について

ダム貯水池に大量の流木が流入し、災害復旧事業として対応するときの取扱いについて、以下に関連資料¹⁾を示す。

2. 直轄河川（ダム）災害復旧事業に係る実施要領について

国河環第55号 平成13年10月1日
北海道開発局建設部長，各地方整備局河川部長，沖縄総合事務局開発建設部長，水資源開発公団管理部長あて
国土交通省河川局河川環境長通達

直轄河川（ダム）災害復旧事業実施要領

1. 適用

省略

2. 対象ダム等

省略

3. 採択基準等

(1) 省略

(2) 省略

(3) 異常天然現象によって貯水池へ流入した流木の除去を災害復旧事業として採択する場合は，当該異常天然現象によって流入した流木の量（以下「堆積量」という．）が，通常年における堆積量を大幅（概ね2倍以上）に超えるような異常なものである場合とする。

なお，ここでの通常年における堆積量とは，原則として直近10ヶ年における堆積量の実績のうち，異常な堆積量の発生した年を除く平均堆積量とし，災害復旧事業による除去対象数量は，当該異常天然現象による堆積量から平均堆積量を控除した数量を上限として決定するものとする。

(4) 省略

【参考文献】

- 1) 「ダム管理 例規集」（財団法人ダム水源地環境整備センター編）

2. 流木が要因となったダム施設の被災事例

手引き本編で記載したとおり、流木が要因となるダム施設の不具合の多くは、放流設備に関するものである。具体的な例としては、流木による水密ゴムの破損や、ゲート下端に流木が挟み込むことによりゲートを全閉状態にできなくなったことなどが挙げられる。洪水調節機能に直接支障が出るような被災事例（手引き本編で記載した二風谷ダム・裾花ダムが該当する）は現時点では少ないが、放流設備の損傷は、下流河川の洪水被害を助長するなど、大きなリスクにつながる可能性がある。

平成 12 年度～平成 28 年度までに流木が要因となったダム施設の被災事例を 5 つに区分し、グラフ化したものを図 2.1 に示す。このうち、流木が下流に流出するなどの大きなリスクの要因となった事例は、網場の切断事例である 1 件のみである。ただし、ワイヤーロープの緩みなどにより、一時的にゲートが操作できなくなった事例もあり、こうした事例では、大規模洪水が発生するタイミングによっては大きなリスクに繋がるものとなる。

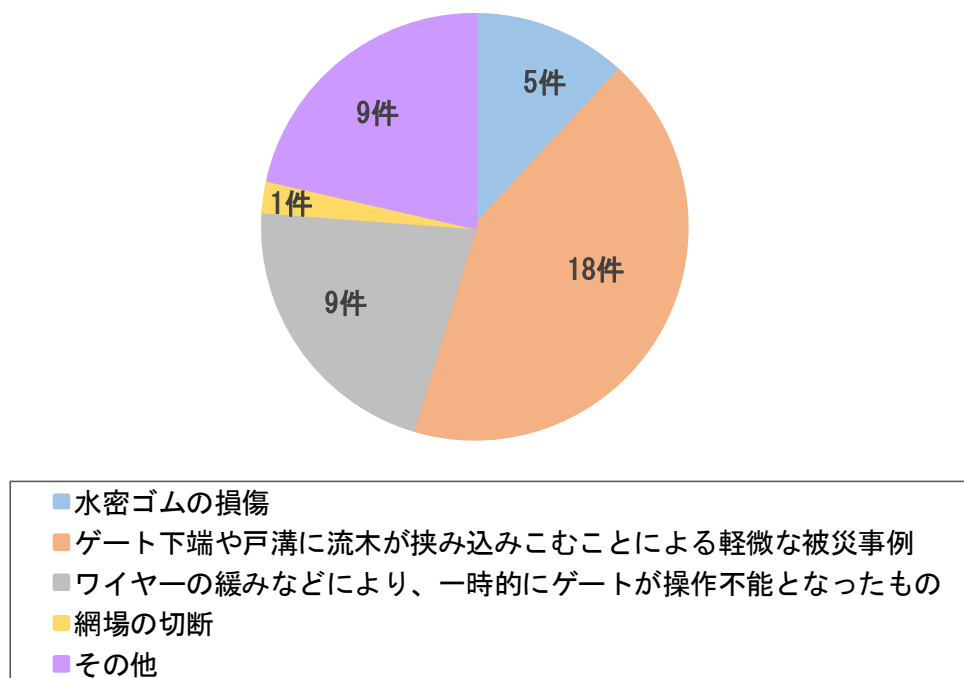


図 2.1 被災事例の区分（全 42 件）

3. 網場の効果的な配置・運用事例

本章では、手引き本編の3章で示した、網場の配置と運用の改善策の具体的な事例として、長安ロダム、天ヶ瀬ダム、四十四田ダム、矢木沢ダム、二瀬ダムにおける網場の配置や運用事例について記載する。

3.1 長安ロダムの事例

長安ロダムでは、網場の水中ネットがめくれ上がることにより、下流に流木が流出することが確認されていたことから、堤体近傍に100mの離隔をとり、2基の網場を配置し（写真3.1）、堤体付近への流木流出を予防している。また、上流側の網場については、水中ネットのめくり上がりを防止するため、錘付きのチェーンネットを採用している。

捕捉した流木は、2基の網場の間に集め、近傍の進入路から陸揚げを実施している（写真3.2）。

なお、複数網場を配置するにあたっては、それぞれの網場に通船ゲートを配置する必要があること、網場間の離隔が小さい場合には、網場間の流木の回収効率が低下する可能性があることが留意点として挙げられる。



写真 3.1 網場の配置





写真 3.2 捕捉した流木の回収状況

3.2 天ヶ瀬ダムの事例

天ヶ瀬ダムでは、堤体近傍の網場のほか、貯水池上流の進入路付近にも網場を配置しており（写真 3.3）、回収・陸揚げの効率化を図っている。上流の網場で捕捉した流木は貯水池進入路に配置したバックホウにより陸揚げを実施し（写真 3.4 右下）、堤体近傍の網場で捕捉した流木は、クレーンを用いた陸揚げを実施している（写真 3.4 右上）。



写真 3.3 網場の配置



写真 3.4 捕捉した流木と陸揚げの状況

3.3 四十四田ダムの事例

四十四田ダムでは、堤体近傍の網場で捕捉した流木を回収するにあたり、上流約 200m の位置に簡易網場を一時的に配置（写真 3.5）し、捕捉した流木の風による拡散を防止したのちに回収・陸揚げを実施している。

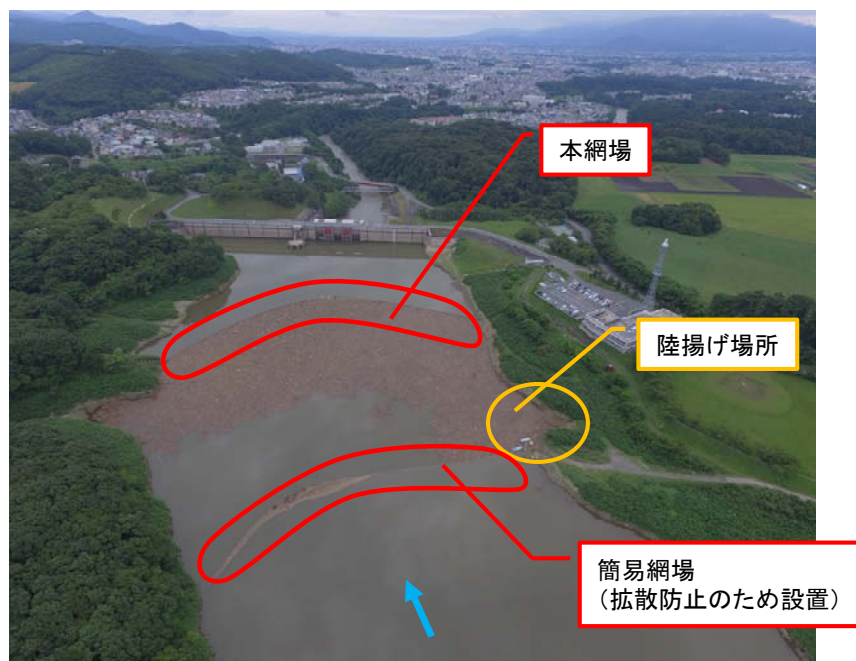


写真 3.5 堤体近傍網場と回収・陸揚げ時における簡易網場の配置

3.4 矢木沢ダムの事例

矢木沢ダムでは、堤体近傍に網場が配置されている（写真 3.6 上）が、堤体右岸の脇ダム付近を流木回収ヤードとし、貯水池への進入路が併せて配置されている（写真 3.6 下左）。網場で捕捉した流木は、船舶を用いてこの流木回収ヤードに集め、集めた流木は簡易網場により風による拡散を防止（写真 3.6 下右）している。堤体近傍の地形と貯水池進入路の配置を考慮し、効率的な流木対策を実施している事例である。



写真 3.6 矢木沢ダムにおける堤体近傍網場と流木回収ヤードの簡易網場

3.5 二瀬ダムの事例

二瀬ダムでは、堤体近傍に網場を配置し、湖面上に滞留する流木を作業船により回収している。回収した流木は、貯水池上流の進入路近傍まで運搬し、写真 3.7 に示すとおり、簡易網場を利用して集めた流木が拡散しないよう処置している。

集めた流木の搬出は、二瀬ダムの貯水位の低下時期にあわせて写真 3.8 に示すとおりに陸上部のみの作業として実施している。

簡易網場と貯水位変動を利用し、効率的な流木対策を実施している事例である。



写真 3.7 二瀬ダムにおける網場の設置状況

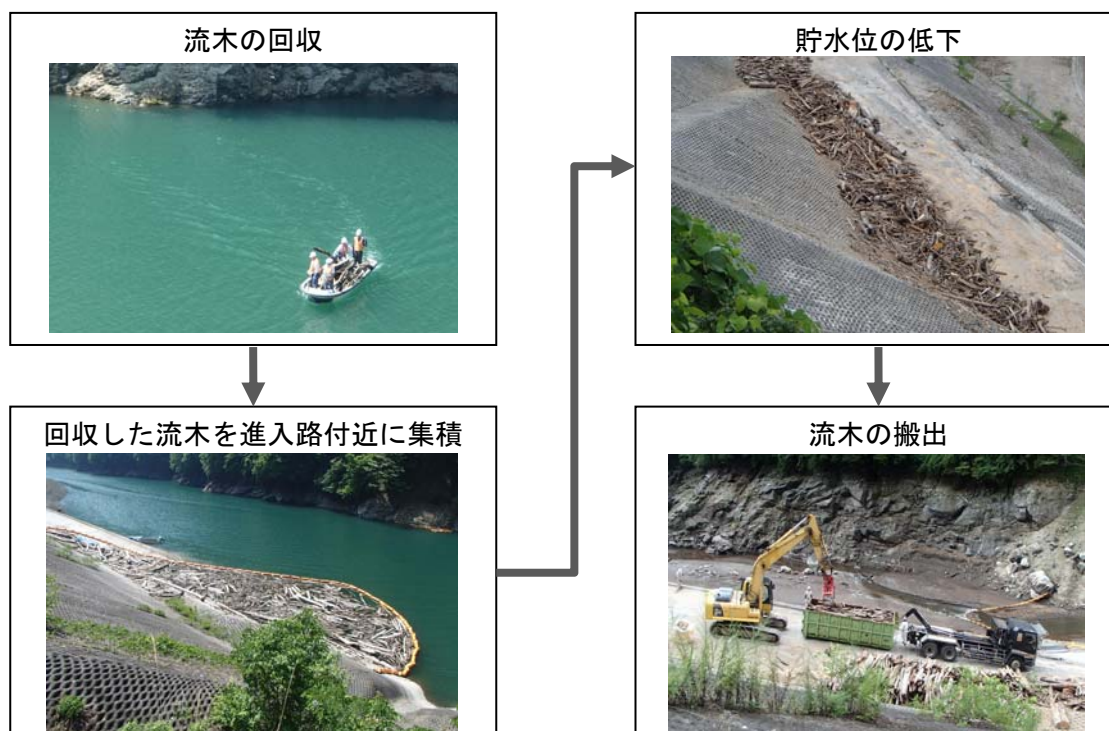


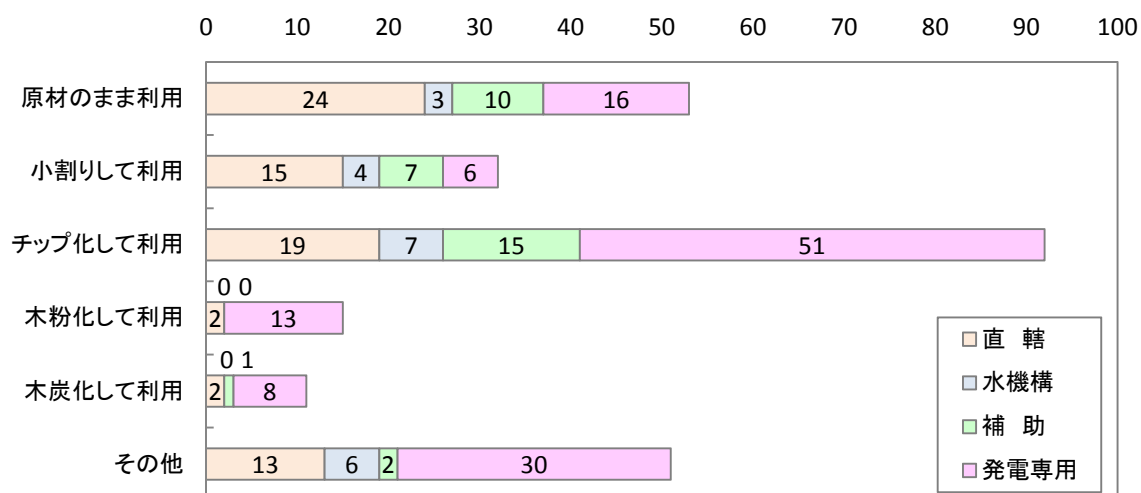
写真 3.8 二瀬ダムにおける流木対策の作業状況

4. ダム貯水池流入流木の有効活用事例及び最新の技術動向

本章では、手引き本編 6.2 節の内容を補足するものとして、現在多くのダムで実施されている有効活用の現状や、一般的な有効活用方法の具体的な内容、最新の技術動向を踏まえた有効活用事例について記載する。

4.1 有効活用の現状

国土交通省所管ダム（水資源機構・都道府県管理ダム含む）と発電専用ダム（発電会社）を対象として、平成 27 年に実施したアンケートの結果から、有効活用に関するものを抜粋し、図 4.1 に示す。流木を原材のまま利用するものを除けば、主な加工形態としては、小割り、チップ化が大半を占めている。木炭化・木粉化は、発電専用ダムでは採用されている事例が多いが、国土交通省所管ダムで採用されている事例は少ない。



※複数回答有り

図 4.1 流木の有効活用に関するアンケート結果（平成 27 年実施）

4.2 原木等の有効活用事例

原木や小割りした状態での流木の有効活用は、ダム周辺地域の住民が主な対象となるため、広報活動が重要である。広報活動の事例としては、次のものがある。

- ①ダム事業者自身のホームページでの情報掲載（常時引渡し、定期開催イベント等の案内）や地方新聞への投げ込み
- ②ダム流域内の自治体におけるホームページや庁舎での掲示板での情報提示
- ③ダム事業者や自治体での広報誌への情報掲載等

これらは、地域内の資源循環の普及啓発をはかるうえでも有効であると考えられる。

	
二瀬ダム	温井ダム
	
苦田ダム	石手川ダム

写真 4.1 原木の無償配布事例

4.3 チップ材の有効活用事例

チップ化した流木の主な有効活用としては、パルプ材の原料として利用する方法や、堆肥材の原料とする方法が挙げられる。既往文献「猿谷ダムの流木処理のとりくみ」（「ダム技術」No.179 P45-49）を参照し、これらの方法について記載する。

パルプ材の原料として利用する場合は、枝、根株や、土砂、石が混入しないこと、炭化が進んでいないことなど、需要先の要求事項に適合させる必要があり、猿谷ダムの事例では、選別した原木を工場に搬入し、工場でチップ化処理を実施している。

一方、堆肥材の原料とする場合には、流木の選別は必要がないことから、移動式破碎機をダム近傍に搬入してチップ化を実施したとしている。原木を運搬してパルプ材の原料とする場合と比べ、ダム近傍で流木の容積を大幅に縮小できることから、運搬コストを軽減することが可能となっている。

猿谷ダムで検討されたチップ化処理（平成13年当時）の方法をとりまとめた結果を表4.1に示す。

表 4.1 猿谷ダムにおけるチップ化処理方法¹⁾

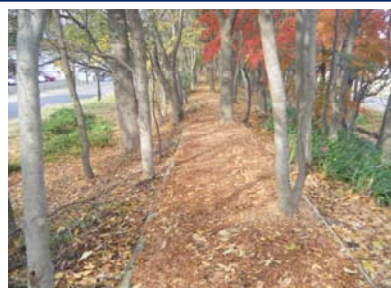
処分方法	パルプ材用チップ	堆肥材用チップ
概 要	根株、枝、痛んだものは不可 選別工が必要	現地でチップ化 すべて適用可能 堆肥材とするまで、工場で2～3年を要する
運搬場所	製紙関連の企業	堆肥関連の工場
運搬距離	32km	38km
運搬方法	原木積込み 工場でチップ化	チップ化後積込み運搬

チップ化処理する場合の需要先は、上記のほかにも、中間処理施設や建材メーカーなどがある。また、公園や遊歩道などのマルチング材として使用する方法もあり、この場合は市町村等が需要先となる。

会津大学構内遊歩道への敷き詰め （木の根を人の足から守るためとのこと。）



チップ敷設前



チップ敷設後

写真 4.2 マルチング材としての適用例（大川ダム）

ダム周辺の地域特性により、流木の需要量や利用方法は変わることから、周辺環境を調査し、当該ダムに適した利用方法を検討していく必要がある。

【参考文献】

- 1) 猿谷ダムの流木処理のとりくみ ダム技術 No.179 (2001.8) P45-49 山岡 康申

4.4 木炭化処理の事例

木炭化処理による有効活用事例は、国土交通省所管ダムで採用されている事例は少ないが、発電専用ダムでの採用事例が多い。

黒田ら¹⁾は、炭化した流木の性状を分析し、以下の結果を得ている。

- (1) 流木の木材としての木質について、化学組成、元素組成、物理・化学的性質について分析試験した結果、流木の傷み・腐朽は表層のみで内部は木材としての価値を十分有している。
- (2) 流木の木炭化は、特段の技術や高額な投資を必要としない、どこにでも簡単に窯の設置が可能な日本の伝統的な炭窯と焼き方で十分炭化できる。
- (3) 炭化したブナ流木の比発熱量の変化は、流木の場合、4,700cal/g だったものが、一旦木炭化されると実に 7,590cal/g まで上昇する。これを率にすると約 1.6 倍である。
- (4) 流木でできた炭（流木炭）は、灰分は 3%以下、発熱量は炭化度の違いで若干相違するが、7,600～7,800cal/g と樹種に関係なく高い発電量を有している。炭質を灰分と熱量で見た場合、流木炭は高品位炭と評価できる。
- (5) 流木炭は流木の細胞組織構造をそのまま残しているため多孔性に富んで非常に軽い。容積重は通常の木炭の約半分である。そのため、強度低下を起こしているが、軽いため取扱いが大変容易である一方、通気性に富むため火着きがよく燃焼効率も高い。
- (6) 流木炭は間隙が大きいため吸水性、保水性に富む。
- (7) 流木炭は 43～210m²/g と巨大な比表面積を有している。これは、流木炭が潜在的に高い吸着能力を持つことを示唆している。
- (8) 流木炭の灰は、多様なミネラルを含んでいる。
- (9) 流木の炭化過程の副産物として、有機化合物の混合物（木酢液）が採取できる。この流木木酢液は、多品種樹木からの混合木酢液であるが、化学的性質並びに化学組成は生木炭からの精製木酢液とほとんど差異はない。
- (10) 貯水池に浮遊する流木を原材料にした流木炭並びに流木木酢液は、市販類似品と比較しても特段の差異は認められず、十分商品性を有していると評価できる。
- (11) 流木を炭材の原材料にしたときの、流木に対する流木炭の収炭率は重量比で 15～24%、流木木酢液の収液量は出炭重量に対し 0.17～0.34 リットル/kg である。

流木の炭化処理により得られた炭は、一定の品質を有しているとともに、副産物としての木酢液が得られることから、炭窯等炭化処理施設が近傍にあること、ダム近傍での需要量が確保できるなどの条件が整えば、有力な有効活用方法であるといえる。

【参考文献】

- 1) ダム貯水池流木の木炭化による再資源化 土木学会論文集 No.503 1994 年 11 月 黒田重徳、小山 喜久二

国土交通省所管ダムで流木の炭化処理を実施している例としては、矢作ダムや二瀬ダムの例がある。矢作ダムでは近傍の NPO と連携して炭化処理を実施しており、二瀬ダムでは炭化工場へ運搬・炭化処理したのち、水質浄化用炭として利用している。



炭焼き釜へ流木投入状況



木炭化（炭焼き）処理状況

写真 4.3 炭化処理状況（矢作ダム）

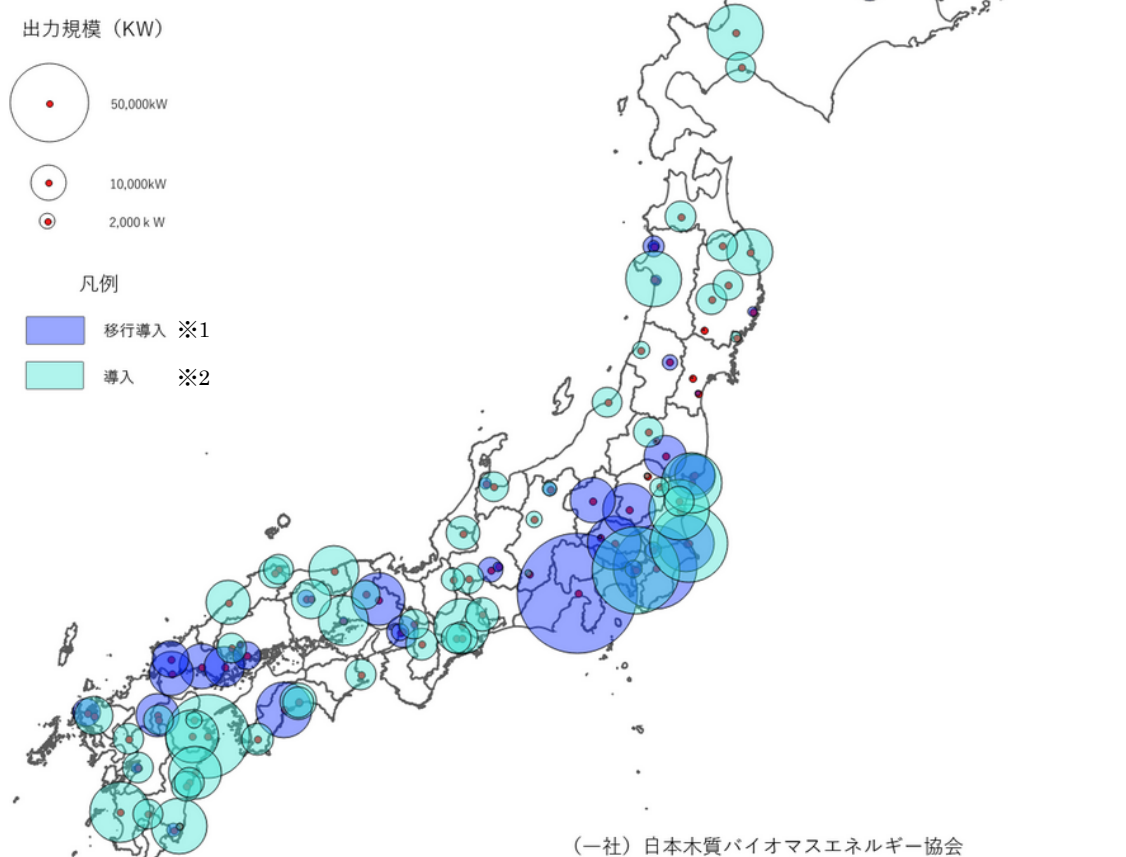
4.5 木質バイオマス発電燃料への活用

4.5.1 木質バイオマス発電燃料の概要

木質バイオマスエネルギーとは、木質バイオマス（枝・葉・樹皮等）を燃焼させることにより、発電機から電力を回収、またはボイラーにより熱エネルギーを回収するものである。このうち、木質バイオマス発電は、固定価格買取制度(FIT、平成 29 年より開始、調達期間 20 年)の施行により、買取単価が上昇・安定しており、全国各地に発電所が建設されている。FIT 認定を受けた木質バイオマス発電所は、平成 29 年 3 月時点において全国で約 70 箇所程度であるが、今後も施設数は増加する見込みである。また、現時点では 5,000kW 級のバイオマス発電所が多いが、原材料を確実に確保する観点から発電所の収材圏（5,000kW で約 50km 圏）の重複を避けるため、今後はより小規模な発電所が設置される可能性がある。

FIT認定木質バイオマス発電所地図（全国）

移行導入、導入による区分（平成 29 年 3 月末現在）



※1「移行導入」は施設稼働後に FIT に移行した施設
※2「導入」は施設稼働当初から FIT の認定を受けた施設

図 4.2 FIT 認定を受けた木質バイオマス発電所の位置（平成 29 年 3 月時点）²⁾

4.5.2 木質バイオマス発電燃料の品質区分

木質バイオマスを用いた熱エネルギー回収においては、燃料の品質がエネルギー回収効率に大きく影響する。燃料の品質規格については、表 4.2 に示すとおりとされている。燃料の品質は、バイオマス発電ごとに決められているため、ダム管理者は近傍のバイオマス発電における燃料用木質チップのチップ材寸法や水分に関する基準を確認しておく必要がある。

表 4.2 燃料用木質チップの品質基準

品質項目	単位	class1	class 2	class 3	class 4
原料 (原料区分参照)		幹, 全木, 未処理工場残材	幹, 全木, 未処理工場残材 灌木・枝条・末木等	幹, 全木, 未処理工場残材 灌木・枝条・末木等 剪定枝等, 樹皮 未処理リサイクル材	幹, 全木, 未処理工場残材 灌木・枝条・末木等 剪定枝等, 樹皮 未処理リサイクル材 化学処理工場残材 化学処理リサイクル材
チップの種類		切削チップ	切削チップまたは破砕チップ		
チップの寸法 P (寸法区分参照)		P16, P26, P32 および P45 から選択			
水分 M (水分区分参照)	% (湿量基準)	M25, M35 から選択	M25, M35, M45 および M55 から選択		
灰分 A (灰区分参照)	W×%dry ⁽¹⁾	A1.0≦1.0%	A1.5≦1.5%	A3.0≦3.0%	A5.0≦5.0%
窒素 N	W×%dry ⁽¹⁾	—	—	≦1.0	★ただし、リサイクル材を取り扱わない工場を除く ★リサイクル材を取り扱う工場では、脚注の重金属等 ⁽²⁾ について随時測定すること
塩素 Cl	W×%dry ⁽¹⁾	—	—	≦0.1	
砒素 As	mg/kg dry	—	—	≦4.0	
クロム Cr	mg/kg dry	—	—	≦40	
銅 Cu	mg/kg dry	—	—	≦30	

注) 金属、プラスチック類、灌木(合成木材、複合木材)、土砂、石などの異物を含まないこと

(1) W×%dry: 質量パーセント(乾量基準)

(2) 硫黄 S: ≤0.1W×%dry, カドミウム Cd: ≤0.2mg/kgdry, 鉛 Pb: ≤50mg/kgdry, 水銀 Hg: ≤0.1mg/kgdry, 亜鉛 Zn: ≤200mg/kgdry

原料区分

発生起源	原料の名称	内 容
森林立木	01 幹 ⁽¹⁾	高木の幹
	02 全木 ⁽¹⁾	高木の根を除く樹体全体
	03 灌木 ⁽¹⁾ ・末木・枝条等	灌木、末木・枝条(葉を含む), 根張り材(ドンコロ)
	04 剪定枝等	公園樹、街路樹、果樹等の幹部および剪定枝葉
副産物工場残材	11 未処理工場残材	背板、端材、剥き芯などの無垢材
	12 樹皮	剥皮
	13 化学処理工場残材 ⁽²⁾	合板、集成材、パーティクルボードなどの接着製品および保存処理材など
リサイクル材	21 未処理リサイクル材	化学的処理されていない建築用材・梱包材・パレットなど
	22 化学処理リサイクル材 ⁽²⁾	合板、集成材、パーティクルボードなどの接着製品および保存処理材など

(1) 伐根を除く、(2)CCA 処理剤を除く

寸法区分

区 分	微細部 チップ重量の 10%未満	主要部 チップ重量の 80%以上	粗大分 チップ重量の 10%未満	最大長
P16	<4mm	4-16mm	16-32mm	<85mm
P26	<4mm	4-26mm	26-45mm	<100mm
P32	<8mm	8-32mm	32-63mm	<120mm
P45	<16mm	16-45mm	45-90mm	<150mm

注) 寸法: ふるいの目開き寸法

水分区分(到着ベース)

区分	水分 M (湿量基準含水率)	参考 (乾量基準含水率)
M25 (乾燥チップ)	≤25%	≤33%
M35 (準乾燥チップ)	26-35%	34-54%
M45 (湿潤チップ)	36-45%	55-82%
M55 (生チップ)	46-55%	83-122%

注) M>55%のチップは対象外

灰区分

区分	灰分%
A1.0	A≤1.0
A1.5	A≤1.5
A3.0	A≤3.0
A3.5	A≤5.0

4.5.3 原料の受け入れ先

木質バイオマスによる発電は、発電を実施する「発電事業者」と、発電の原料となるチップ材を製造する「燃料製造業者」の役割が明確に分担されているため、ダム貯水池における流木のような原料の受け入れ先は、「燃料製造業者」が対象となる。これらの「燃料製造業者」は、原料の調達先から燃料の受け入れ先となる発電施設まで一連の流れが構築されているものが多いが、専用の貯蔵庫を有し、原料の受入れを適宜実施していることもある。

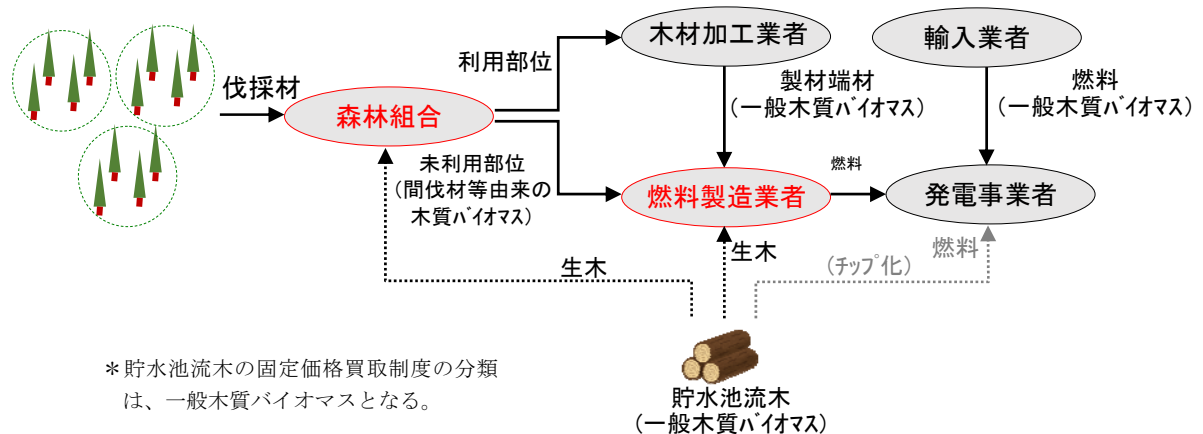


図 4.3 木質バイオマス発電原料および燃料の流通イメージ

4.5.4 ダム貯水池流入流木への適用

ダム貯水池流入流木をバイオマス発電の原料として利用するための留意点は、以下に示すとおりであり、ダム近傍におけるバイオマス発電事業者、燃料製造業者と連携することが不可欠である。

- ・ ダム近傍エリアでのバイオマス発電稼働状況を、「一般社団法人 日本バイオマスエネルギー協会」等の情報を活用して把握し、当該発電所周辺に配置されているバイオマス発電燃料の製造会社等を調査する。
- ・ 受入れ先候補となる製造会社等の原料調達ルートを把握するとともに、受入れ先の需要量と当該ダムで安定供給可能な流木量を比較し、受入れの可能性について検討する。
- ・ 原料に一般廃棄物が混入している場合、燃料製造業者が廃棄物処理の許可を有していないことから、受入れされないことがあり、事前の分別作業について製造会社等と協議し、役割分担を明確にしておく必要がある。
- ・ 原料はチップ化処理したものとなるが、発電施設により使用可能なチップの形状、寸法が異なる。このため、製造会社等と協議し、役割分担を明確にしておく必要がある。
- ・ 原料となるチップ材には、流木に含まれる水分に関する基準があるため、陸揚げ後の流木の乾燥期間を検討する必要がある。

【参考文献】

- 1) バイオマス発電・証明ガイドライン Q&A 平成 27 年 7 月（林野庁）
- 2) 一般社団法人日本木質バイオマスエネルギー協会ホームページ：<https://www.jwba.or.jp/>

4.6 亜臨界水反応技術を用いた肥料・飼料への活用

4.6.1 亜臨界水反応技術の概要

亜臨界水反応技術は、焼却処分される廃棄物等を資源に還元することを可能にするものであり、20 年程前から基礎的研究が実施されている。対象となる廃棄物は、生活廃棄物、汚泥、廃木材等多岐にわたり、これらを原材料として、燃料、肥料、飼料が生産される。

超臨界水は、原理的に 374℃・220 気圧以上の超高温・高圧状態の水の物理化学的な状態のことを指す。この超臨界水は液体の水の密度のまま大きな熱エネルギーを得て、ダイオキシンやフロンなどの有害物を瞬時に分解できる。ただし、超高温・高圧条件に耐えるため、プラチナなどの抗腐食性材質の圧力容器や配管が必要であることからコスト面の制約が大きく、現時点では広く実用化されるまでには到っていない。

超臨界水よりも低い 200℃・20 気圧前後の「亜臨界水」の場合、水分子 (H_2O) は H (プロトン) と OH (水酸参加成分) に分割されて処理対象物に取り込まれ、短時間 (一般的に 20・30 分前後) で加水分解を引き起こす。そのプロセスで、高分子化合物のバイオマスは微生物が利用しやすい低分子化合物に変化する (例: たんぱく質→アミノ酸、でん粉→ブドウ糖、脂肪→低級脂肪酸)。亜臨界水反応装置 (図 4.4) は、あらゆるバイオマスに対応可能で、投入エネルギーも小さいことが特長であり、日本の装置メーカーが商用化に成功し、日米中韓のほか、香港、マレーシア、EU、インド、計 8 か国で国際特許を取得している。

手引き作成時点において、国内における実機の導入は、下水汚泥の処理用として長崎市に設置されている 1 事例のみであるが、海外では、台湾で食品残滓や鶏糞から肥料を生産する施設が導入されている事例もある。木材を用いた事例としては、実運用ではないものの、北海道の北見で実証事業が実施されており、地域の未利用木材を用いて高品質の飼料が生産されている。

亜臨界水反応技術による廃棄物の資源化は、現時点では実用例が少ないものの、多種にわたる廃棄物に適用できる可能性を有しているため、今後の技術開発によっては広く浸透する可能性がある。

亜臨界水反応装置（Mリサイクルマシーン・パッチ式）

主要機器構成

- ボイラー 【最高圧力：2Mpa（20気圧），最高温度：215℃（電源AC200V）】
- ボイラー付属装置 【軟水装置：薬注装置，給水タンク&ポンプ，オイルサービスタンク】
- タンク（圧力容器） 【横型形式，標準処理量は下表による，材質SUS304】
- 攪拌駆動装置 【モーター：7.5kW×4P×200V，伝導法チェーンブローケット】
- 操作・制御盤 【制御項目：タンク内温度×圧力，処理時間，制御盤一面】

タンク(圧力容器)諸元

タイプ	標準処理量 (1パッチ当たり)
MRM-2	2m ³
MRM-6	6m ³

(注)タンク内実容量:標準処理量の約10%余裕を持たせている。



Mリサイクルマシンの特長

- 処理可能なバイオマス:流木等の未利用材，畜糞，生ごみ，魚残滓，下水汚泥など幅広く対応できる。
- 資源循環産業の下支え:多様なバイオマスを短時間で加水分解，低分子化し有用な資源に転換できる。
流木等木材の場合、牛向けの木質粗飼料，土壤改良材(人工腐葉土)が得られる。
- 処理機能の高効率性 :短い処理時間(通常10-30分)，燃烧工程なく排ガス対策不要，簡素な装置構成
- 運転操作の容易性 :投入エネルギーは極少，操作ポイントは温度・圧力・処理時間のみ

図 4.4 亜臨界水反応装置の概要

4.6.2 ダム貯水池流入流木への適用

ダム貯水池流入流木のうち、砂やごみの付着がない良質なものは、亜臨界水反応装置により「木質粗飼料」としての利用を見込める可能性がある。また、別途に実証試験が必要であるが、「キノコ菌床材」が得られる可能性もある。沈木などの不良質な流木であれば、「土壤改良材」としての利用用途が見込める可能性がある。おが粉やチップ材を好気性微生物処理する従前の土壤改良材生産技術では、処理時間が2・4年もかかるのに対し、亜臨界水技術では熟成期間を含めて2・3ヶ月で処理できることから、コスト削減の可能性も有している。

亜臨界水反応装置を用いた流木処理のイメージを図4.5に示す。

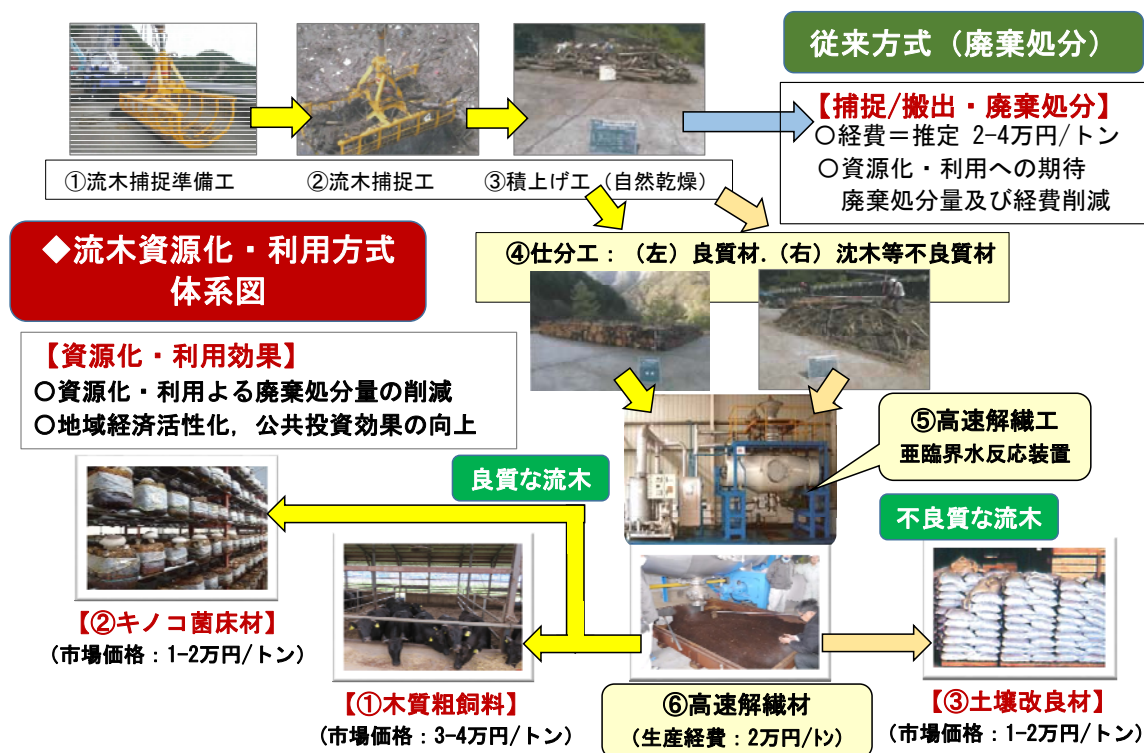


図 4.5 亜臨界水反応装置を用いた流木処理イメージ

亜臨界水反応装置による処理では、流通コストの観点から、流木発生地点から 100km 圏程度内での処理が必要であると考えられている。このため、対象地点の近隣に反応装置の設置が必要であり、ダム貯水池流入流木に適用していくためには、当該技術が広く浸透していくことが前提となる。

【参考文献】

- 1) 「日本木質バイオマスエネルギー協会ホームページ (<https://www.jwba.or.jp/>データベース)」
- 2) 地域における複合的な抗堪性強化策（試論）～亜臨界水技術が支える資源循環産業の育成と地域活性化～ 第 5 回防衛施設学会研究論文集，pp.83-94 松下潤、松井三郎、宮代知直、吉村和就

5. ダム貯水池流入流木に関連する法令等

ダム貯水池流入流木の基本的な位置付けについては、手引き 6.1 節(1)で記載しているとおりであり、複数の法令が関係しているが、それらの統一的な解釈を明文化されたものはない。本章では、手引き 6.1 節(1)を補足するものとして、関連する法令の具体的な内容を記載したものである。

5.1 流木の取り扱いについて

関連する法令を以下に示す。

5.1.1 有価物としての取り扱い

有価物として取り扱う場合、水難救護法第二十四条における以下の記載があるとおり、ダム貯水池に流入する流木は「漂流物」と位置付けられる。

【水難救護法第二十四条】

- 第二十四条 **漂流物又ハ沈没品ヲ捨得シタル者ハ遅滞ナク之ヲ市町村長ニ引渡スヘシ**但シ其ノ物件ノ所有者分明ナル場合ニ於テハ捨得ノ日ヨリ七日以内ニ限り直ニ其ノ所有者ニ引渡スコトヲ得
- 2 前項但書ノ場合ニ於テハ捨得者ハ所有者ヨリ **河川ニ漂流スル材木ニ在リテハ**其ノ価格ノ十五分ノ一、其ノ他ノ漂流物ニ在リテハ其ノ物件ノ価格ノ十分ノ一、沈没品ニ在リテハ其ノ物件ノ価格ノ三分ノ一ニ相当スル金額以内ノ報酬ヲ受クルコトヲ得

水難救護法に従うと、ダム貯水池で回収する流木は市町村に引き渡すこととなり、市町村は水難救護法第二十五条における以下の記載があるとおり、これを保管する必要がある。ただし、実際の作業区分については、市町村に確認していく必要がある。

【水難救護法第二十五条】

- 第二十五条 **市町村長ハ引渡ヲ受ケタル物件ヲ保管スヘシ**

5.1.2 無価物としての取り扱い

(1) 基本的な方針

循環型社会形成推進基本法では、廃棄物を循環的な利用が行われることを促進しており、循環的な利用が行われない循環資源については、廃掃法に従った適正な処分をすることとしている。

【循環型社会形成推進基本法第七条】

(循環資源の循環的な利用及び処分の基本原則)

- 第七条 **循環資源の循環的な利用及び処分に当たっては、技術的及び経済的に可能な範囲で、かつ、次に定めるところによることが環境への負荷の低減にとって必要であることが最大限に考慮されることによって、これが行われなければならない。**この場合において、次に定めるところによらないことが環境への負荷の低減にとって有効であると認められるときはこれによらないことが考慮されなければならない。
- 一 循環資源の全部又は一部のうち、再使用をすることができるものについては、再使用がされなければならない。
 - 二 循環資源の全部又は一部のうち、前号の規定による再使用がされないものであって再生利用をすることができるものについては、再生利用がされなければならない。
 - 三 循環資源の全部又は一部のうち、第一号の規定による再使用及び前号の規定による再生利用がされないものであって熱回収をすることができるものについては、熱回収がされなければならない。
 - 四 循環資源の全部又は一部のうち、前三号の規定による循環的な利用が行われないものについては、処分されなければならない。

また、同法では循環型社会の形成について、国・地方公共団体にそれぞれ責務があるとしている。

【循環型社会形成推進基本法第九条・第十条】

(国の責務)

- 第九条 国は、第三条から第七条までに定める循環型社会の形成についての基本原則（以下「基本原則」という。）にのっとり、循環型社会の形成に関する基本的かつ総合的な施策を策定し、及び実施する責務を有する。

(地方公共団体の責務)

- 第十条 地方公共団体は、基本原則にのっとり、循環資源について適正に循環的な利用及び処分が行われることを確保するために必要な措置を実施するほか、循環型社会の形成に関し、国との適切な役割分担を踏まえて、その地方公共団体の区域の自然的社会的条件に応じた施策を策定し、及び実施する責務を有する。

このことから、ダム貯水池で回収する流木においては、まずは有効活用を前提とした処理方策を検討することが基本方針となる。

(2) 有効利用する場合の留意点

無価値と判定されたものを有効活用する場合は流木の所有権について留意しておく必要があるが、民法第二百三十九条および第二百四十六条を参照すると以下のことがいえる。

- ・ダム貯水池で回収する流木の所有権はダム管理者にある（第二百三十九条）※。
- ・ダム貯水池で回収した流木の加工が発生する場合は、所有権の委譲を確認しておく（第二百四十六条）。

【民法第二百三十九条】

（無主物の帰属）

○第二百三十九条 **所有者のない動産は、所有の意志をもって占有することによって、その所有権を取得する。**

【民法第二百四十六条】

（加工）

○第二百四十六条 他人の動産に工作を加えた者（以下この条において「加工者」という。）があるときは、その加工物の所有権は、材料の所有者に帰属する。ただし、**工作によって生じた価格が材料の価格を著しく超えるときは、加工者がその加工物の所有権を取得する。**

※平成15年の大規模流木発生に伴い大量の流木を有効活用した二風谷ダムでは、有効活用をするに先立ち、上流域流木発生源の森林組合に流木所有権の確認を実施した例がある。

廃掃法の第六条第二項五には、以下の記載があり、市町村は、土地の占有者（ここではダム管理者）に当該一般廃棄物の減量に関する計画の作成を指示することができるとされており、ダム管理者は、流木に関する有効活用方法について、市町村の了解を得ておくものとなる。

【廃棄物の処理および清掃に関する法律 第六条の二の五】

○第六条の二の五 市町村長は、その区域内において事業活動に伴い多量の一般廃棄物を生ずる土地又は建物の占有者に対し、**当該一般廃棄物の減量に関する計画の作成**、当該一般廃棄物を運搬すべき場所及びその運搬の方法その他必要な事項を指示することができる。

(3) 廃棄物として処分する場合の留意点

廃棄物の処理及び清掃に関する法律では、発生源に応じて廃棄物区分を行っている。
産業廃棄物の「木くず」は、特定の業種（建設業、木材・木製品製造業、パルプ製造業、輸入木材卸売業）から発生したものに限定しているため、それ以外の業種で発生した場合は、産業廃棄物でなく「一般廃棄物」として扱われる。

木質系廃棄物に関して産業廃棄物と一般廃棄物の区分、及び処理責任の関係は表 5.1 のとおりである。

表 5.1 木質系廃棄物の発生源に応じた廃棄物区分・処理責任¹⁾

産業廃棄物		・ 建設業、解体業から出る廃材 ・ 木製品製造業、家具・建具製造業から出る木くず(木材片、おがくず、樹皮) ・ パルプ製造業から出る廃材 ・ 輸入木材卸売業から出る木くず など	処理責任	事業者が自らの責任において、自らまたは許可業者への委託により処理しなければならない。
一般廃棄物	事業系	・ 流通業や製造業が排出する輸送用資材(梱包木枠・木質パレット等) ・ オフィスから出る廃棄家具 ・ 造園業の剪定枝、枯れ葉 ・ 外食産業等から出る割り箸 など		処理責任は市町村にあり、市町村もしくは市町村が委託あるいは許可した業者によって処理される。許可は、収集運搬業と処理業とが別々に与えられる仕組み。
	家庭系	・ 木製家具等の粗大ゴミ ・ 剪定枝 ・ 木質梱包材 など		

上記のことから、ダム流木は一般廃棄物（うち事業系一般廃棄物として区別）として取り扱われる。一般廃棄物の処理責任は市町村にあり、発生源となる事業所を管轄する市町村若しくは市町村が委託・許可した業者によって処理される（廃掃法第六条の二・引取りから市町村の責務で実施する）。

なお、ダム管理者が流木を一般廃棄物処理する場合、その運搬・処理は許可業者に委託することとなるが、ダム管理者は運搬・処理の許可業者と直接契約する必要がある。

【廃棄物の処理および清掃に関する法律 第六条の二】

(市町村の処理等)

- 第六条の二 市町村は、一般廃棄物処理計画に従って、その区域内における一般廃棄物を生活環境の保全上支障が生じないうちに収集し、これを運搬し、及び処分（再生することを含む。第七条第三項、第五項第四号ハからホまで及び第八項、第七条の三第一号、第七条の四第一項第五号、第八条の二第六項、第九条第二項、第九条の二第二項、第九条の二の二第一項第二号及び第三項、第九条の三第十二項（第九条の三の三第三項において準用する場合を含む。）、第十三条の十一第一項第三号、第十四条第三項及び第八項、第十四条の三の二第一項第五号、第十四条の四第三項及び第八項、第十五条の三第一項第二号、第十五条の十二、第十五条の十五第一項第三号、第十六条の二第二号、第十六条の三第二号、第二十三条の三第二項、第二十四条の二第二項並びに附則第二条第二項を除き、以下同じ。）しなければならない。

一般廃棄物の処理責任は市町村にあるが、市町村が廃棄物処理法に従い策定する一般廃棄物処理基本計画には、ダム流木がその対象とされていないことが多く、その性状や発生量・時期が不明確なことからも市町村での実質的な処理は困難な場合が多い。

廃掃法の第六条の二の4および5には、以下の記載があり、市町村との協議を経て処理の受入れが成立しない場合は、事業者（公共公益事業も含む）責任および土地または建物の占有者の義務に従って、自家処理・減量を行うか、一般廃棄物として委託処理することとなる。

【廃棄物の処理および清掃に関する法律 第六条の二の四】

- 第六条の二の四 土地又は建物の占有者は、その土地又は建物内の一般廃棄物のうち、生活環境の保全上支障のない方法で容易に処分することができる一般廃棄物については、なるべく自ら処分するように努めるとともに、自ら処分しない一般廃棄物については、その一般廃棄物処理計画に従い当該一般廃棄物を適正に分別し、保管する等市町村が行う一般廃棄物の収集、運搬及び処分に協力しなければならない。

【廃棄物の処理および清掃に関する法律 第六条の二の五】

- 第六条の二の五 市町村長は、その区域内において事業活動に伴い多量の一般廃棄物を生ずる土地又は建物の占有者に対し、当該一般廃棄物の減量に関する計画の作成、当該一般廃棄物を運搬すべき場所及びその運搬の方法その他必要な事項を指示することができる。

1) 焼却処理する場合の留意点

自家処理・減量については、野焼きが法令で禁止されているため、焼却炉焼却を行うこととなるが、焼却処理に対する規制強化（大気汚染防止法やダイオキシン類特別措置法の制定）により、焼却炉を設置し適正に維持管理することがダム管理者にとって大きな負担となっている。このため、自家焼却を行うダムはほとんどないのが実態であり、一般廃棄物として委託処理とするのが現実的である。

焼却処理をする場合には、以下の対応が必要となる。

- ・ 廃掃法施行令第三条一(3)に基づき、一般廃棄物を焼却する場合には、環境省令で定める構造を有する焼却設備を用いて、環境大臣が定める方法により焼却することとなる。
- ・ 廃掃法第8条第1項の規定に基づき設置許可が必要な焼却施設は、平成9年の法改正に基づき、1日当り処理能力5t/日から、1時間当たりの処理能力が200kg以上又は火格子面積2m²以上のいずれかに該当するものに引き下げられている。
- ・ 廃掃法施行規則第一条の七において、焼却設備の構造は下記のとおりとすることが定められている。
- ・ その他、大気汚染防止法、ダイオキシン類特別措置法で定める規制に従う必要がある。

【廃棄物の処理および清掃に関する法律施行規則第一条の七】

○第一条の七 令第三条第二号イの環境省令で定める構造は、次のとおりとする。

一 空気取入口及び煙突の先端以外に焼却設備内と外気とが接することなく、燃焼室において発生するガス（以下「燃焼ガス」という。）の温度が摂氏八百度以上の状態で廃棄物を焼却できるものであること。

二 燃焼に必要な量の空気の通風が行われるものであること。

三 燃焼室内において廃棄物が燃焼しているときに、燃焼室に廃棄物を投入する場合には、外気と遮断された状態で、定量ずつ廃棄物を燃焼室に投入することができるものであること。

四 燃焼室中の燃焼ガスの温度を測定するための装置が設けられていること。ただし、製鋼の用に供する電気炉、銅の第一次製錬の用に供する転炉若しくは溶解炉又は亜鉛の第一次製錬の用に供する焙焼炉を用いた焼却設備にあつては、この限りでない。

五 燃焼ガスの温度を保つために必要な助燃装置が設けられていること。ただし、加熱することなく燃焼ガスの温度を保つことができる性状を有する廃棄物のみを焼却する焼却設備又は製鋼の用に供する電気炉、銅の第一次製錬の用に供する転炉若しくは溶解炉若しくは亜鉛の第一次製錬の用に供する焙焼炉を用いた焼却設備にあつては、この限りでない。

2) 委託処理する場合の留意点

委託処理する場合には、「廃棄物の処理および清掃に関する法律施行令」第四条における「一般廃棄物の収集、運搬、処分等の委託の基準」（次頁）に従って行うものとなる。

【廃棄物の処理および清掃に関する法律施行令第四条】

第四条 法第六条の二第二項の規定による市町村が一般廃棄物の収集、運搬又は処分（再生を含む。）を市町村以外の者に委託する場合の基準は、次のとおりとする。

一 受託者が受託業務（非常災害時において当該受託者が他人に委託しようとする業務を除く。）を遂行するに足りる施設、人員及び財政的基礎を有し、かつ、受託しようとする業務の実施に関し相当の経験を有する者であること。

二 受託者が法第七条第五項第四号イからヌまでのいずれにも該当しない者であること。

三 受託者が自ら又は非常災害時において環境省令で定める基準に従って他人に委託して受託業務を実施する者であること。

四 一般廃棄物の収集、運搬、処分又は再生に関する基本的な計画の作成を委託しないこと。

五 委託料が受託業務を遂行するに足りる額であること。

六 一般廃棄物の収集とこれに係る手数料の徴収を併せて委託するときは、一般廃棄物の収集業務に直接従事する者がその収集に係る手数料を徴収しないようにすること。

七 一般廃棄物の処分又は再生を委託するときは、市町村において処分又は再生の場所及び方法を指定すること。

八 委託契約には、受託者が第一号から第三号までに定める基準に適合しなくなったときは、市町村において当該委託契約を解除することができる旨の条項が含まれていること。

九 第七号の規定に基づき指定された一般廃棄物の処分又は再生の場所（広域臨海環境整備センター法第二条第一項に規定する広域処理場を除く。）が当該処分又は再生を委託した市町村以外の市町村の区域内にあるときは、次によること。

イ 当該処分又は再生の場所がその区域内に含まれる市町村に対し、あらかじめ、次の事項を通知すること。

（１） 処分又は再生の場所の所在地（埋立処分を委託する場合にあつては、埋立地の所在地、面積及び残余の埋立容量）

（２） 受託者（非常災害時において当該受託者が受託した一般廃棄物の処分又は再生を他人に委託して実施する場合にあつては、当該受託者及び当該処分又は再生を委託しようとする者）の氏名又は名称及び住所並びに法人にあつては代表者の氏名

（３） 処分又は再生に係る一般廃棄物の種類及び数量並びにその処分又は再生の方法

（４） 処分又は再生を開始する年月日

ロ 一般廃棄物の処分又は再生を一年以上にわたり継続して委託するときは、当該委託に係る処分又は再生の実施の状況を環境省令で定めるところにより確認すること。

【参考文献】

1) 木質廃材リサイクルの課題と循環型利用拡大の可能性 みずほ総合研究所 2005.9.16

5.2 流木の仮置きについて

流木は、廃棄物としては一般廃棄物に分類されることから、仮置きヤードで流木を保管するにあたっては、「廃棄物の処理及び清掃に関する法律施行令」で定められた要件を満たす必要がある。

5.2.1 一般廃棄物としての留意点

廃棄物の処理及び清掃に関する法律施行令第三条第一号

リ 一般廃棄物の保管を行う場合には、次によること。

(1) 保管は、次に掲げる要件を満たす場所で行うこと。

(イ) 周囲に囲い（保管する一般廃棄物の荷重が直接当該囲いにかかる構造である場合にあっては、当該荷重に対して構造耐力上安全であるものに限る。）が設けられていること。

(ロ) 環境省令で定めるところにより、見やすい箇所に一般廃棄物の積替えのための保管の場所である旨その他一般廃棄物の保管に関し必要な事項を表した揭示板が設けられていること。

(2) 保管の場所から一般廃棄物が飛散し、流出し、及び地下に浸透し、並びに悪臭が発散しないように次に掲げる措置を講ずること。

(イ) 一般廃棄物の保管に伴い汚水が生ずるおそれがある場合にあっては、当該汚水による公共の水域及び地下水の汚染を防止するために必要な排水溝その他の設備を設けるとともに、底面を不浸透性の材料で覆うこと。

(ロ) 屋外において一般廃棄物を容器を用いずに保管する場合にあっては、積み上げられた一般廃棄物の高さが環境省令で定める高さを超えないようにすること。

(ハ) その他必要な措置

同施行令に基づくと、仮置きヤードで必要となる整備は以下のとおりとなる。

- ・ 周囲に囲いを設ける。
- ・ 分別前段階では、流木に塵芥や土砂が含まれていることがあるため、それらが飛散・流出しないような措置を講ずる。
- ・ 見やすい箇所に、一般廃棄物である流木等の一時的な保管場所である旨、その他一般廃棄物の保管に関し必要な事項を表示した揭示板等を設ける。

5.2.2 火災予防に関する留意点

流木は、可燃性廃棄物であり、積み上げられた流木内部の発熱速度が表面からの放熱速度を上回ると、蓄熱が促進され、比較的低い温度においても蓄熱火災が生じる可能性がある。このため、特に流木仮置き期間が長期（数週間以上）におよぶ場合は、下記の点に留意する。

- ・ 仮置きヤードにおける流木の積み上げ形状は、高さ 5m 以下、一山当たりの設置面積を 200m² 以下とする（図 5.1 参照）。
- ・ 積み上げられた山と山の離間距離は 2m 以上とする（図 5.1 参照）。
- ・ 回収流木内にライター、灯油缶等の燃料を含む危険物や、電化製品、バッテリー等の火花を散らす廃棄物が含まれている場合は速やかに除去する。

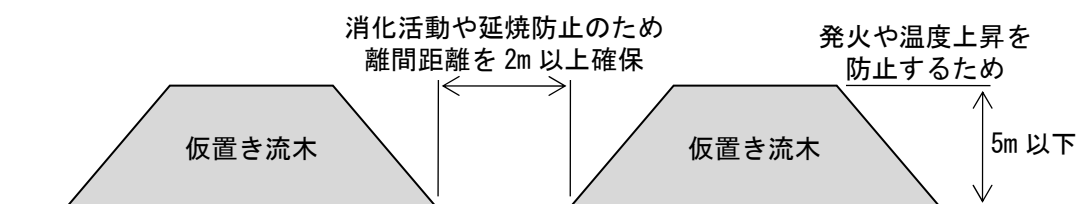


図 5.1 火災予防に留意した流木の積み上げ形状¹⁾

流木は、廃棄物としては一般廃棄物に分類されることから、仮置きヤードで流木を保管するにあたっては、「廃棄物の処理及び清掃に関する法律施行令」で定められた要件を満たす必要がある。

次頁には、長期間流木を仮置きし、上記の火災予防に留意した場合の仮置きヤードの計画例を記載する。

【仮置きヤードの計画例】

A ダムにおける通年規模の最大流木量として 2,000m³を見込み、以下のとおり仮置きヤードを計画する。ここでは、目標とする流木量全量を仮置きするための計画事例について記載している。

A ダムにおける仮置きヤード計画概要は以下のとおりである。

- ・ 周囲に立入禁止柵を設けるとともに、流木の保管場所であることを表示した掲示板を設ける。
- ・ 流木の積み上げ高さを 2m、積み上げ時の法面勾配を 1:1.0 とする。
- ・ 数週間以上の長期間の仮置きを予定することから、火災予防に留意した計画し、一山当たりの設置面積を 200m² 以下とする。
- ・ バックホウによる 10t ダンプトラックによる積込作業や、ダンプトラックの走行に考慮し、積み上げられた山と山の離間距離として 4m を確保する。
- ・ 上記のほか、移動式破碎によるチップ化処理に必要なヤードを設ける。
- ・ 上記のとおり計画した仮置きヤードは図 5.2 のとおりとなる。

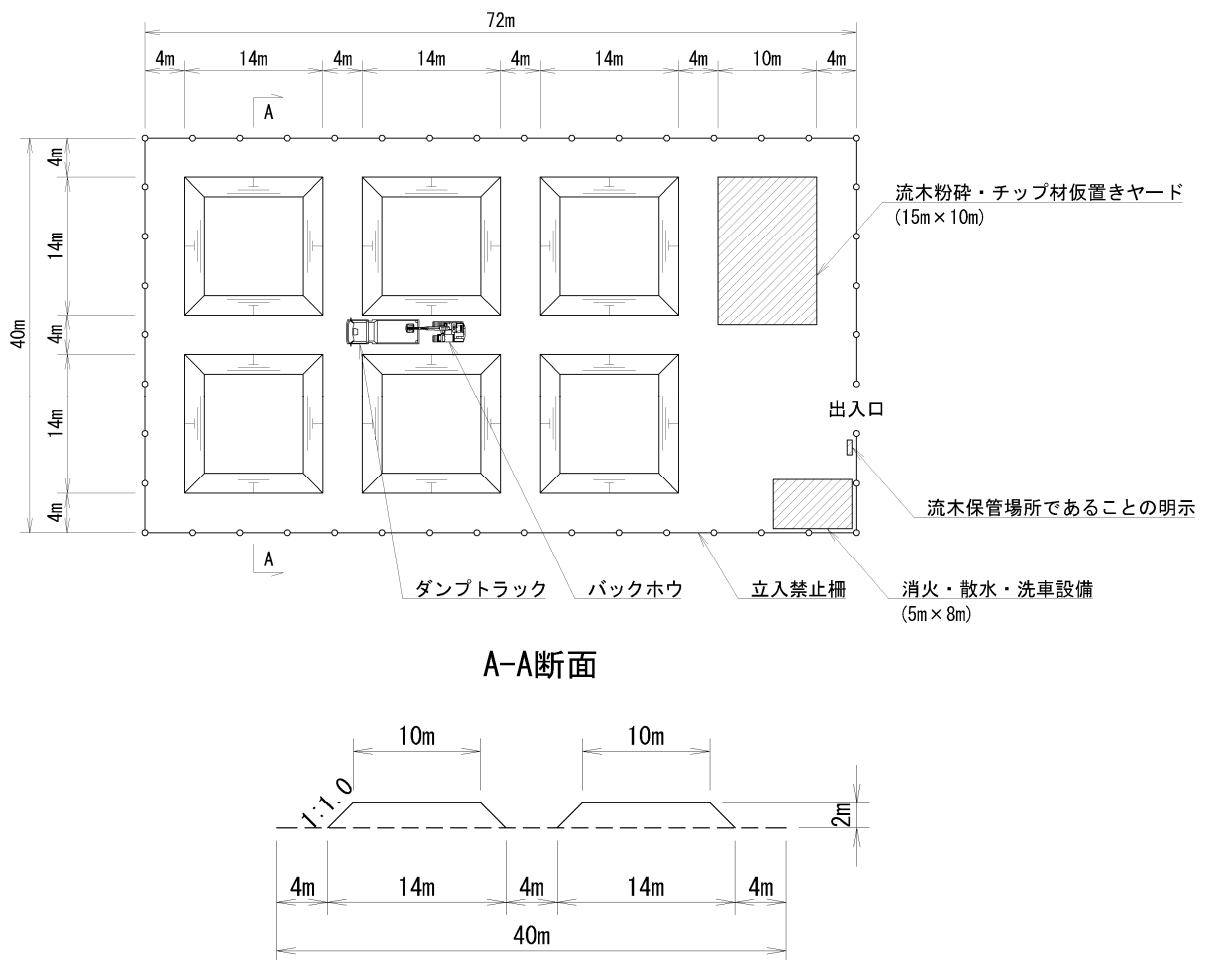


図 5.2 仮置きヤード計画事例

【参考文献】

- 1) 「仮置き場の可燃性廃棄物の火災予防（第二報）」国立環境研究所：2011年9月19日国立環境研究所

6. ダムによる流木捕捉効果の定量的把握手法

手引き本編の第1章総説で記載したとおり、ダムは、流木を捕捉することにより、下流河川の橋脚等に流木が集積し、洪水被害を拡大させるリスクを未然に防止している。ダムによる流木捕捉は、流水管理とともに、洪水被害拡大防止に寄与しているといえる。

流木捕捉の効果を定量的に把握する手法は明らかとされていないが、流木に関する複数の文献を参照することにより、その効果のある程度定量的に把握することが可能であり、本章ではその手法について記載している。

6.1 流木災害の発生要因とダムによる流木捕捉効果

我が国の国土の約3/4は山地であり、その大部分は森林に覆われている。このため、河川上流域の溪流においては豪雨等により山腹崩壊、溪流崩壊、溪岸浸食等が発生すると、土砂と共に多量の流木が発生して、下流へ流下する。この際に、流木が橋梁に集積して堰上げが生じ、洪水氾濫や、橋梁の損壊、流失を起こす事例が発生している。

ダムは、洪水調節によって下流河川での氾濫被害の回避、低減を図っているほか、流木捕捉によって下流河川への流木流下量を低減させることにより、流木災害リスクの低減を図っている。また、洪水調節によって下流河川の流出量を低減することにより、河岸洗掘等に伴う河畔林の流木化を抑制し、下流河川における流木の流下・発生総量を低減させることによって、河川域や海岸域での流木処理を容易としている一面もある。

「流木災害軽減対策と河川樹木管理に関する総合的研究」（財団法人河川環境管理財団2008.11）では、流木災害事例に関する文献整理により、流木災害の形態を以下の7つに分類している。このうち①が山地・溪流部で多く発生し、かつ人命等への危険性が高く被害も大きいとされている。

本章では、ダムによる流木捕捉効果について、洪水調節による下流河川の水位低減と、橋梁での流木集積に伴う堰上げ防止による水位低減を合算したものとし、その算定方法を示している。

表 6.1 流木災害の形態

流木災害の形態	災害が生じる主な場
① 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	河川域（橋梁等）
② 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水圧により橋梁が押し流される	河川域（橋梁等）
③ 取水堰や放水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	河川域（構造物）
④ 土砂調節を目的とした透過型の砂防えん堤等のスリット部を閉塞し土砂の調節機能を低下させる	砂防区間
⑤ 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	河川域（構造物）
⑥ 貯水池等に貯って一部は沈積する。これらは腐敗し水質や景観を損ねる	ダム
⑦ 海に流出して船舶の航行の障害等になったり、海岸に漂着してゴミとなる	海岸域

○橋梁での堰上げ氾濫、橋梁損壊、家屋損壊事例（三隅川：昭和 58 年 7 月洪水）【形態①, ②, ⑤】



写真 6.1 三隅大橋右岸上流の破堤後の様子¹⁾

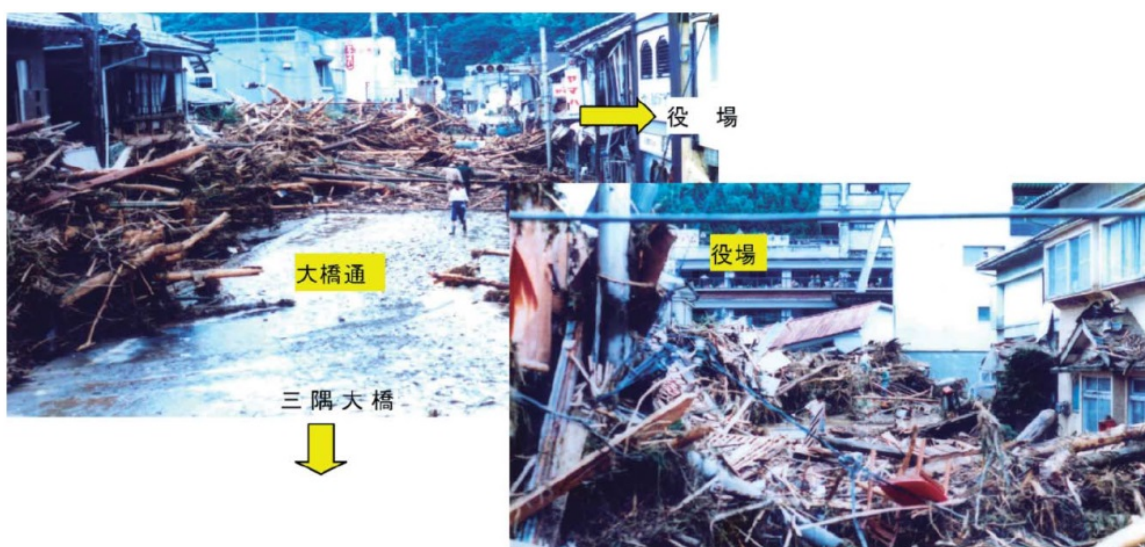


写真 6.2 道路にうず高く堆積した流木¹⁾

○取水・放水機能の低下事例（耳川：平成 17 年 9 月洪水）【形態③】



写真 6.3 大内原ダム（九州電力（株））の洪水吐き前面に貯留した流木¹⁾

○航行障害等の事例（静岡県駿河湾沿岸：平成 12 年, 平成 13 年台風）【形態⑦】



写真 6.4 漂着物の状況（清水海岸, 平成 13 年）¹⁾

【参考文献】

- 1) 「流木災害軽減対策と河川樹木管理に関する総合的研究」（財団法人 河川環境管理財団 2008.11）

6.2 流木捕捉効果の算定方法

洪水の発生に伴ってダム貯水池に流入した流木は、ダムで捕捉されずに下流に流出した場合、橋梁等に閉塞することで水位を上昇させ、洪水被害を拡大させる可能性がある。このため、ダムに流入した流木が捕捉されずに下流に流出したものと想定し、これらの流木によって発生する橋梁での堰上げ水位量を算出することにより、ダムによる流木捕捉効果を把握できると考えられる。ただし、河川における流木の挙動については、明らかでないことが多いことから、ここでは、複数の既往文献を引用し、流木によって発生する橋梁での堰上げ水位量を簡易に推定する方法を記載するものとする。

ダムでの流木捕捉効果の算定フロー並びに検討に必要な資料を以下に示す。なお、流木捕捉効果の算定方法は、下表に示す文献を参考としている。

表 6.2 流木捕捉効果の算定に使用した文献

文献	タイトル	出典	年月	執筆者
1	橋梁への流木集積と水位せきあげに関する水理的考察	国土技術政策総合研究所資料 ISSN1346-7328 第 78 号	平成 15. 3	板野 章
2	福井豪雨における九頭竜川上群ダム群の洪水調節効果	大ダム No. 198	平成 16.	角 哲也 谷崎 保
3	河川敷内の植生および流木が河川構造物（橋梁）に与える影響について	山梨大学工学部研究報告 第 36号	昭和60. 12	竹内 邦良 坂元 康 荻原 能男
4	流木に関する実験的研究	京大防災研究所年報第 1 号	昭和 32. 12	足立 昭平 大同 淳之

6.2.1 検討対象橋梁の選定

- (1) 洪水時におけるダム下流の河川水位の整理
- (2) 検討対象橋梁の選定
- (3) 流木集積が懸念される橋梁の抽出

【検討に必要な資料】

- 洪水時の流量資料
(ダム流入量・放流量、下流河川流量)
- 河道特性（河川縦断勾配、H・Q 関係式）
- 橋梁諸元（桁下高、最小径間長など）

6.2.2 橋梁に到達する流木量の算定

- (1) 流域からの流木流出量の算定
- (2) 河道内での流木回収量
- (3) 橋梁での流木集積率の設定
- (4) 橋梁に到達する流木量の算出

- 当該洪水におけるダムでの流木捕捉量
または過去の流木捕捉実績
- 河道での流木回収量
- 当該洪水の流量規模
- 橋梁諸元（最小径間長）

6.2.3 橋梁での流木集積による堰上げ量の算定

- (1) 堰上げ量の算定式
- (2) 【参考】堰上げ量算定式の適用性

- 洪水時の流量資料
- 橋梁諸元（橋梁幅、桁高）

6.2.4 流木捕捉を考慮したダムによる下流河川の水位低減効果

図 6.1 流木捕捉効果の算定フロー

6.2.1 検討対象橋梁の選定

(1) 洪水時におけるダム下流の河川水位の整理

対象とする洪水において、ダムで洪水調節を行わなかった場合（ダムなし）と洪水調節実施後（ダムあり）の下流河川の流量を算定し、不等流計算等で求められた河道特性（ $H\cdot Q$ 関係）から河川水位を算定する。

求められた河川水位に対し、橋梁の桁下高を整理することにより、流木集積の懸念がある橋梁を抽出する。

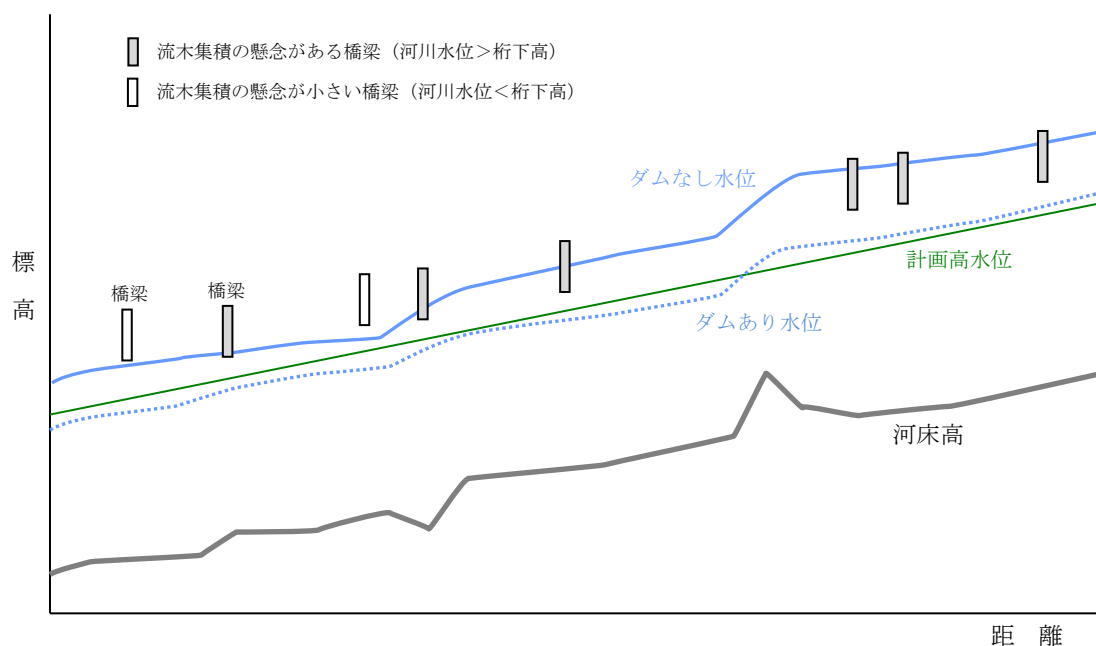


図 6.2 洪水時の水位と橋梁桁下高の関係 概念図

(2) 検討対象橋梁の選定

ダムにおいて流木の捕捉を行わなかった場合、流木集積に伴う堰上げ氾濫によって甚大な被害が生じるおそれがある橋梁を選定する。

ダム直下から検討対象橋梁までの区間が検討対象区間となる。

検討対象橋梁は、6.2.1(1)で整理した河川水位と橋梁桁下高の関係から、流木集積の懸念がある橋梁のうち、以下を参考に選定する。

【検討対象橋梁の選定例】

- ・ 河川整備基本方針やダム計画における治水基準地点付近の橋梁
- ・ 市街地に位置する代表的な橋梁
- ・ 桁下高が低く、径間長が短い等の通水断面が著しく小さい橋梁

(3) 流木集積が懸念される橋梁の抽出

検討対象橋梁に到達する流木量は、上流に位置する他の橋梁における流木集積の影響を受けるため、検討対象区間内に存在する橋梁諸元を整理すると共に、流木の集積が懸念される橋梁の抽出を行う。

文献 1 によると、流木災害により被災した橋梁諸元には以下の傾向があるとされている。また、平成 27 年度に河川管理者を対象に実施したアンケート調査においても同様な結果が得られている。

このため、以下の条件に該当する橋梁において、流木集積が生じるものとする。

【流木集積が懸念される橋梁】

- ・ 河川水位が橋梁桁下高を上回る橋梁（6.2.1(1)参照）
- ・ 河床勾配 1/400 程度以下の橋梁
- ・ 最小径間長が約 20m 未満の橋梁

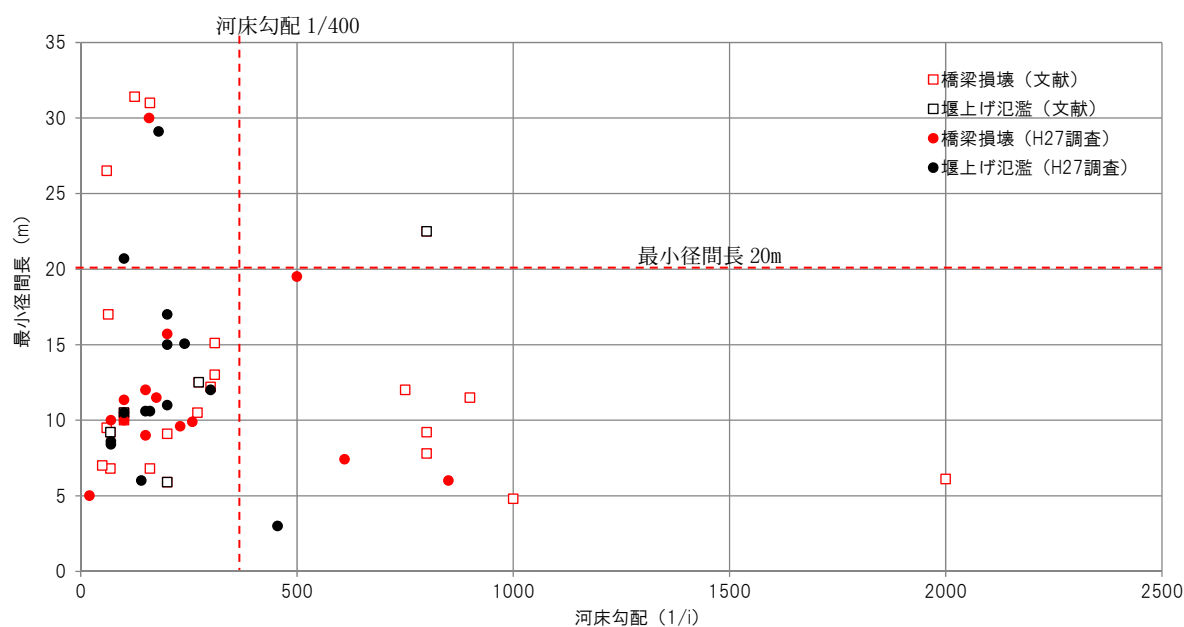


図 6.3 流木災害が発生した橋梁諸元

6.2.2 橋梁に到達する流木量の算定

(1) 流域からの流木流出量の推定

ダムがなかった場合とダムがある場合のダム下流河川への流木流出量を推定する。

ダムでの流木捕捉量は、検討対象とする洪水の実績値を用いることを基本とするが、流木捕捉量を集計するためには時間を要することから、過去の実績捕捉量の統計データをもとに推定することも考えられる。

ダム下流残流域からの流木流出量は、ダムでの流木捕捉量との面積比率により推定する。

なお文献 2 では、過去の大規模洪水における流木の流出量 V_g と流域面積 A との関係について、 $V_g=10\sim100A$ の関係があるものとされており、流域面積比率により設定した流木流出量がこの関係から逸脱していないか確認する。

○ダムがなかった場合：流木流出量＝ダムでの流木捕捉量＋ダム下流残流域からの流出量

○ダムがある場合：流木流出量＝ダム下流残流域からの流出量

ここで、

ダムでの流木捕捉量・・・・・・検討対象とする洪水時の実績値若しくは過去の実績値の統計資料からの推定（近 10 ヶ年の平均捕捉量、最大捕捉量など）

ダム下流残流域からの流出量・・ダムでの流木捕捉量との流域面積比

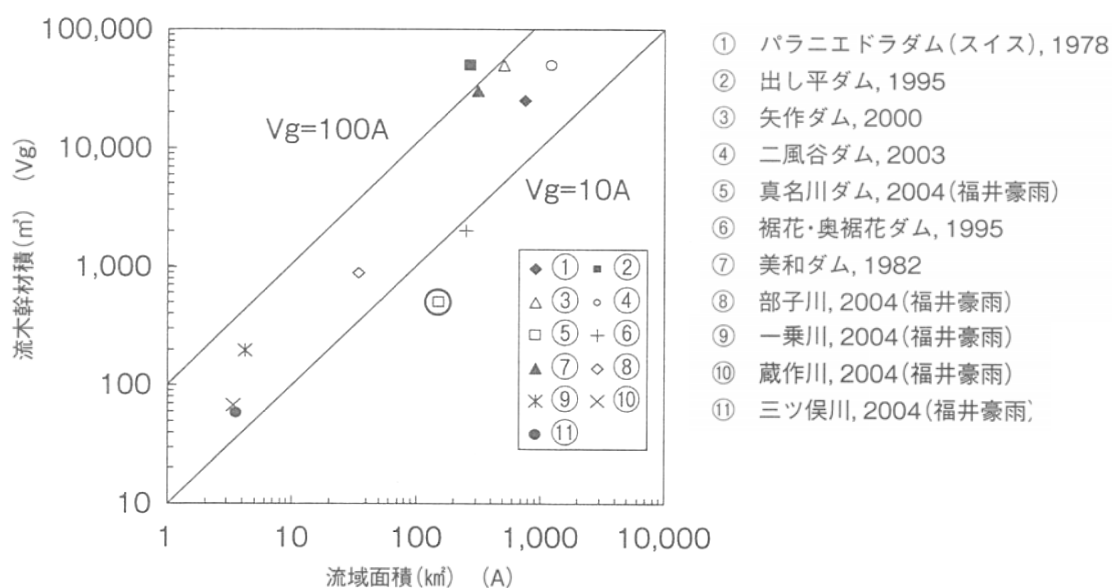


図 6.4 流域面積と流木量の関係²⁾

(2) 河道での流木回収量

河道内を流下する流木は、湾曲外湾部や砂州等の河川地形に応じて河道内に集積し、回収されることになる。

河道内での流木集積量は、湾曲等の河道特性に応じ河川によって異なることから、現時点では水理解析等による推定が困難である。このため、河道での流木回収量は検討区間内での実績回収量を用いることを基本とし、回収量が不明または未調査の時点においては、河道での流木回収量を見込まないものとする。

(3) 橋梁での流木集積率の設定

6.2.1(2)で抽出した流木集積が懸念される橋梁での流木集積率（堰止め率）を設定する。

文献 3 では、実験水路による水理模型実験（スケール 1/50、水路幅 60cm、勾配 1/185、水深 4.5cm, 7.1cm）によって、橋梁での流木の堰止め率（ $c = \text{堆積重量 } w / \text{投入重量 } W$ ）を求めており、流量と径間長を変化させた実験結果から径間長、流量、流木の種類により堰止め率は 0.5～55% となっている。

橋梁での流木集積率は、上記の実験結果から得た表 6.3 を参考に、該当する橋梁の諸元や洪水規模等に応じて設定する。

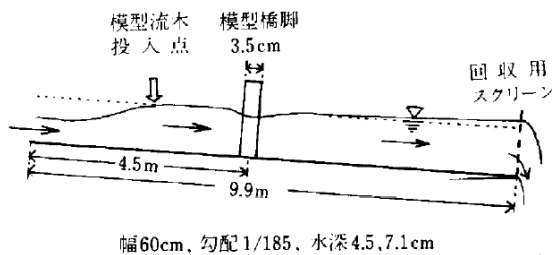


図 6.5 実験条件³⁾

表 6.4 実験に使用した流木モデル³⁾

分類	大	中	小
材 料	割りばし	マッチ棒	麻ひも
平均長さ (cm)	10.15	4.4	2.0
平均断面 (cm×cm)	0.40×0.50	0.22×0.22	—
平均体積 (cm ³)	2.03	0.213	—
標準混合比 (g)	60	30	10
比重 ⁽ⁿ⁾ (g/cm ³)	0.9前後	0.9前後	—

(注) 湿润状態での値

表 6.3 流木の堰止め率³⁾

橋脚の本数	流 量	流木の種類	せき止め率%
2 (径間長大)	大 流量12,000cm ³ /sec 平均流速26cm/sec	大のみ	0.6
		M I X 大 中 小	0 0 5 全体 0.5
	小 流量 4,400cm ³ /sec 平均流速 15.5cm/sec	大のみ	2
		M I X 大 中 小	14 4 18 11
4 (径間長小)	大 流量12,200cm ³ /sec 平均流速28cm/sec	大のみ	3
		M I X 大 中 小	6 4 15 6
	小 流量 4,400cm ³ /sec 平均流速16cm/sec	大のみ	22
		M I X 大 中 小	65 38 47 55

(注) 大中小の混合割合は標準混合の60：30：10である。
大：割りばし，中：マッチ棒，小：麻ひも。

(4) 橋梁に到達する流木量の算定

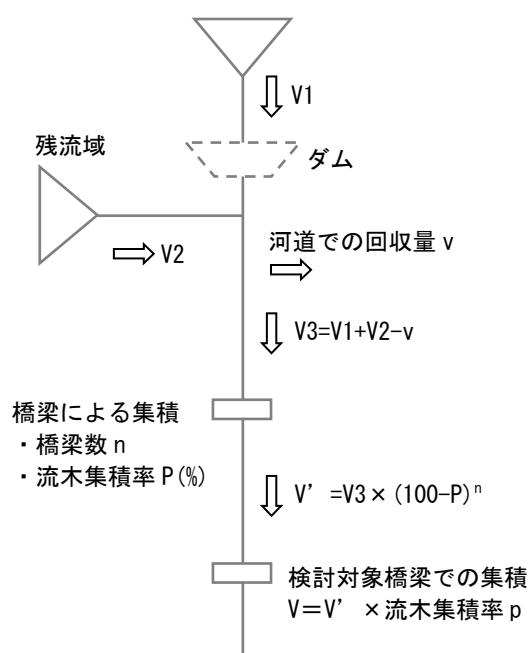
以上で整理した流木流出量、橋梁での流木集積率等をもとに、検討対象橋梁に到達、集積する流木量を算定する。

ダムがなかった場合、ダムがある場合の流木収支計算方法を以下に示す。

表 6.5 橋梁に到達する流木量の算定方法

項目			算定方法
流域からの流木 流出量の推定	ダム	V1	実績値
	残流域	V2	V1 に対する面積比
河道での 流木回収量	河道での回収量	v	実績値
	通過量	V3	$V3 = V1 + V2 - v$ ※ダムありの場合 V1 を省く
橋梁での 流木集積率	集積が生じる橋梁数	n	6.2.1(3) 参照
	橋梁での流木集積率	P	6.2.2(3) 参照
	通過量	V'	$V' = V3 \times (100 - P)^n$
検討対象橋梁 での流木集積量	橋梁での流木集積率	P	6.2.2(3) 参照
	流木集積量	V	$V = V' \times P$

【ダムがなかった場合】



【ダムがある場合】

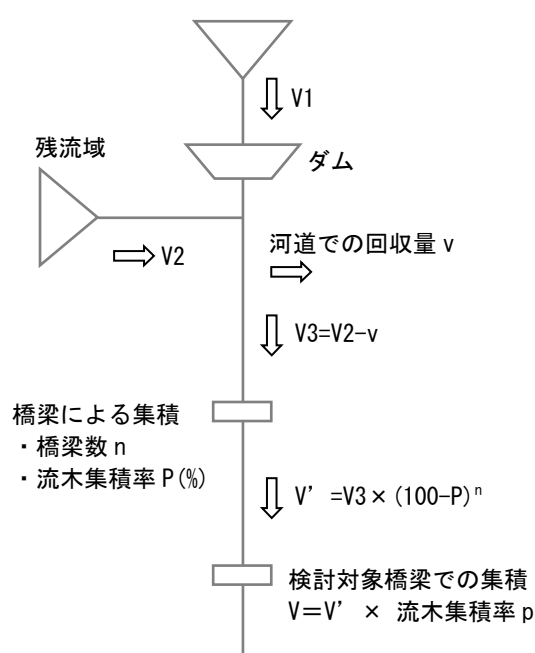


図 6.6 橋梁に到達する流木量の算定方法 概念図

6.2.3 橋梁での流木集積による堰上げ量の算定

(1) 堰上げ量の算定式

検討対象橋梁での流木集積量をもとに、集積による水位の堰上げ量を算定する。

文献4では、橋梁での流木集積による堰上げ現象をベルヌーイのエネルギー式から仮定し、流木の集積に係る係数Kを実験によって求めて、流木集積による堰上げ量 Δh を以下の式により表している。

K値は橋脚前面の流木集積断面積Aと堆積した流木の総体積Vとの比 V/A との指数関係にあり、実験結果から指数mの値は1に近い値となる。

$$\Delta h = K \frac{v^2}{2g}$$

$$K = \left(\frac{V}{A} \right)^m$$

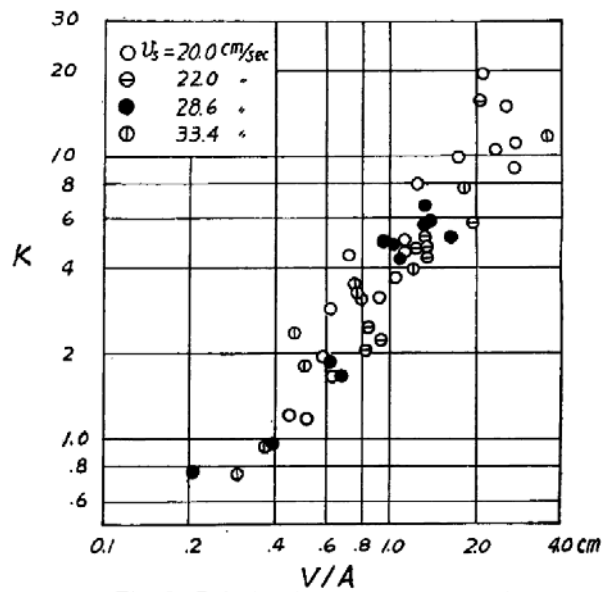
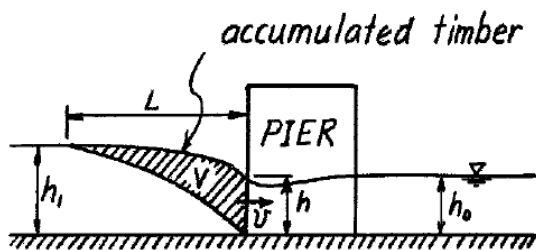


図 6.7 流木の堆積量と堰上げ高に関する模型実験結果⁴⁾

(2) 【参考】堰上げ量算定式の適用性

橋梁での流木集積による堰上げ量算定式の適用性を、平成 27 年度に実施したアンケート調査から得られた事例（15 例）の再現により検証した。

検証方法は以下のとおりである。

【検証方法】

- ・ アンケートから得られた流木集積断面積 A と流木総体積 V より K を求める
- ・ 流速 V は、被災時の流量 Q と橋梁断面積 A （幅×高さ）より求める
- ・ 上記をもとに算定式により計算水位上昇量を算出し、アンケート結果から得られた実績水位上昇量と比較する

この結果、算定式による再現性はおおむね良好であり、実績値に対して $\pm 0.5\text{m}$ 程度の誤差となった。また、実績水位上昇量から再現した K 値と V/A の関係はおおむね $m=1.0$ の関係となっており、算定式は妥当であると判断できる。

ここで一部の事例では、再現性が悪い例も見受けられたが、この要因は推定した流速 V が大きく、射流（フルード数 $Fr > 1.0$ ）を呈しているためである。このため、フルード数が 1.0 を超えないよう流速を補正する必要がある。

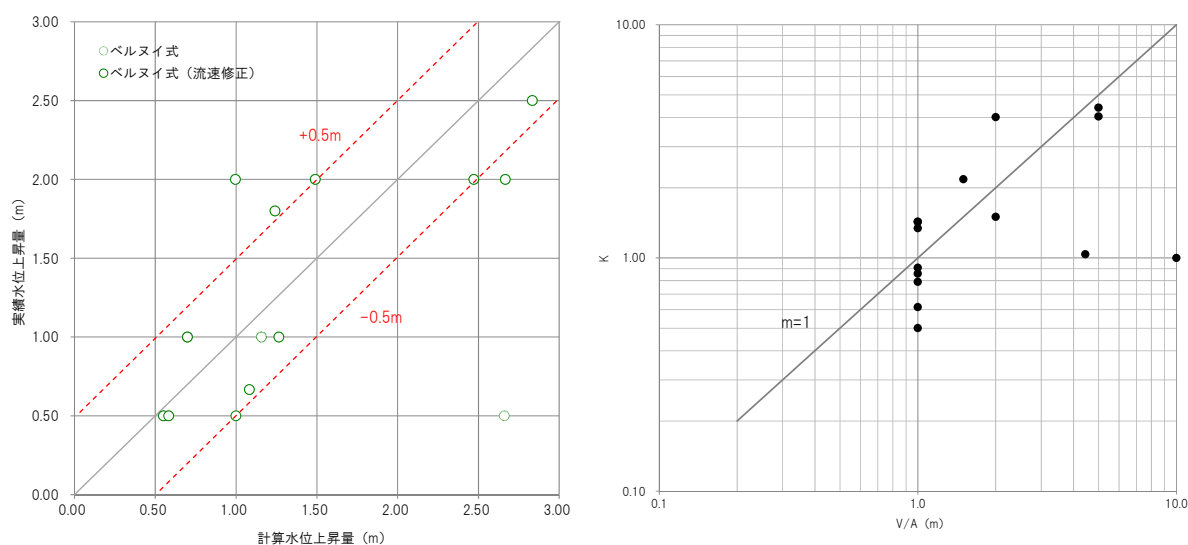


図 6.8 堰上げ量算定式の検証結果図

6.2.4 流木捕捉を考慮したダムによる下流河川の水位低減効果

ダムによる下流河川の水位低減効果は、洪水調節による水位低下に加え、前述で算出した橋梁での堰上げ量 Δh 分の低下を見込む。

洪水調節有無別の河川水位は、6.2.1(1)で述べたとおり、不等流計算等で求められた河道特性（H-Q 関係）から求める。この水位に橋梁での堰上げ量 Δh を加算してダムがなかった場合の水位を算定し、ダムあり水位との差分をもって水位低減効果とする。

流木捕捉を考慮したダムによる水位低下効果のとりまとめ概念図を以下に示す。

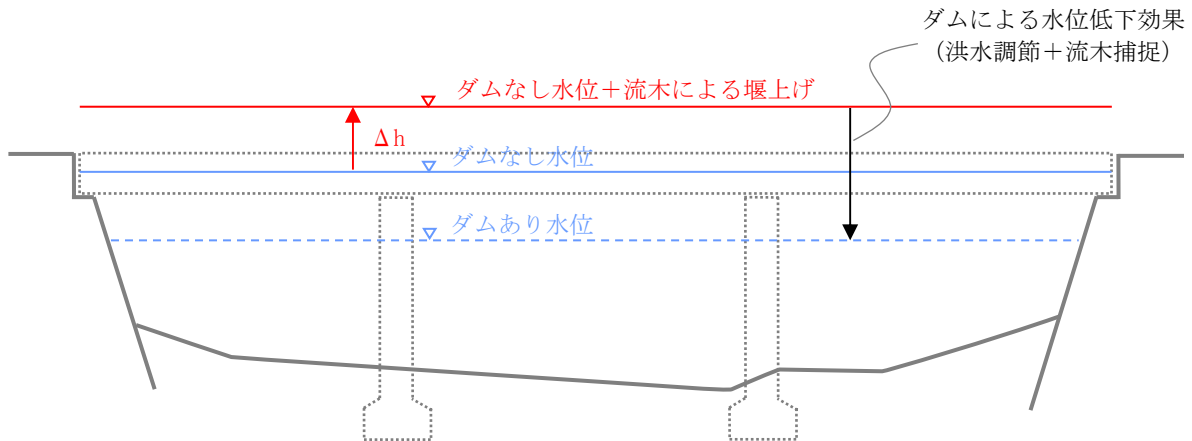


図 6.9 流木捕捉を考慮した水位低減効果 概念図

【参考文献】

- 1) 橋梁への流木集積と水位せきあげに関する水理的考察 国土技術政策総合研究所資料 ISSN1346-7328 第 78 号 2003.3 板野 章
- 2) 福井豪雨における九頭竜川上群ダム群の洪水調節効果 大ダム No. 198 2004. 角哲也、谷崎保
- 3) 河川敷内の植生および流木が河川構造物（橋梁）に与える影響について 山梨大学工学部研究報告 第36号 1985.12 竹内 邦良、坂元 康、荻原 能男
- 4) 流木に関する実験的研究 京大防災研究所年報第 1 号 1957.12 足立 昭平、大同 淳之

6.3 流木捕捉効果算定例

平成 25 年 8 月 9 日の梅雨前線に伴い秋田県・岩手県を中心に記録的な豪雨が発生し、北上川の支川雫石川に位置する御所ダムでは、計画流入量 2,450m³/s を上回る 3,733m³/s の流入が生じた。この洪水に対し御所ダムでは、本則操作にもとづき最大 2,548 m³/s の洪水調節により下流河川の浸水被害の防止を図っているほか、豪雨に伴い流入した約 25,000m³※の流木を捕捉し、下流河川での流木災害を防止している。

ここでは、平成 25 年 8 月 9 日洪水の御所ダムを対象に、流木捕捉による橋梁での流木集積に伴う堰上げに対する低減効果の算定例を示す。

※災害復旧事業申請時の対象流木量

6.3.1 資料の収集・整理

流木捕捉効果を算定するにあたって、以下の資料を収集整理した。

表 6.6 流木捕捉効果を算定するための基礎資料の収集

	資料名	備考
水文資料	御所ダム流入量、放流量	
	太田橋流量	ダム下流観測所
流木量	御所ダムでの実績流木量	
	下流河川での流木処理量	ヒアリングによる
河道	河道諸元（河床高、堤防高、HWL）	H19、H23 河道
	河道特性（H～Q 式）	H23 河道
橋梁諸元	橋梁台帳（橋長、最小径間長、桁高など）	御所ダム下流の 10 橋

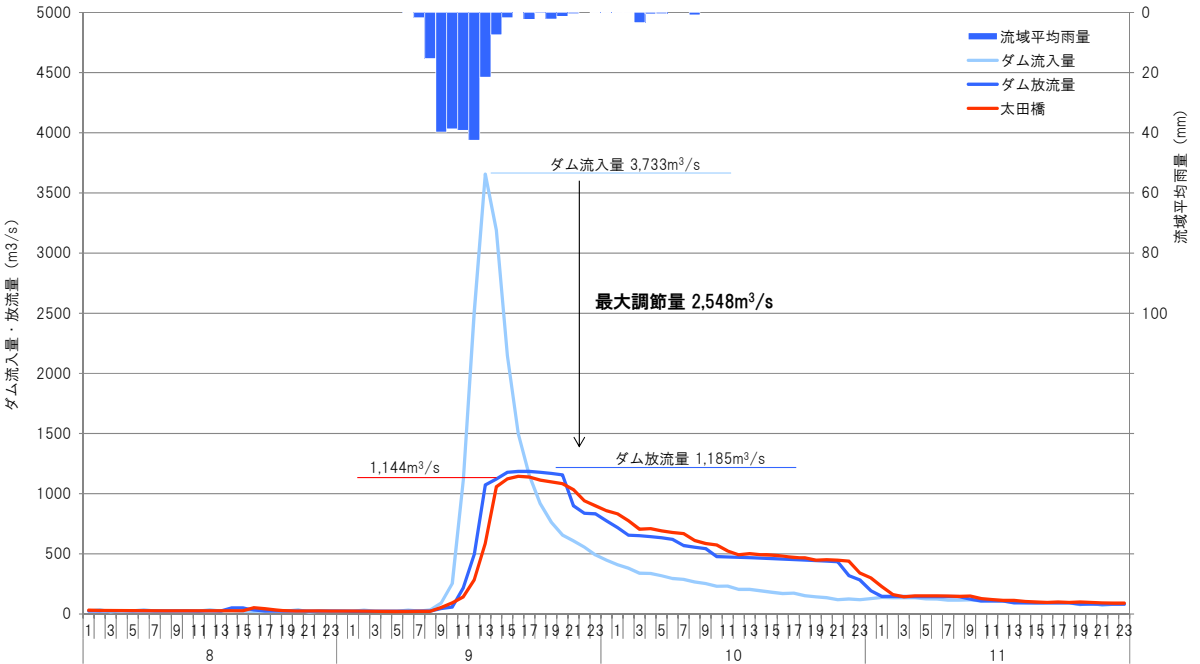


図 6.10 平成 25 年 8 月 9 日洪水 御所ダムハイドログラフ

表 6.7 御所ダム下流（雫石川）の橋梁諸元表

	橋梁名	橋梁諸元						
		位置 (km)	橋長 (m)	幅員 (m)	桁下高 (TP.m)	桁高 (m)	橋脚数	最小径間長 (m)
1	滝太橋	7.40	237.58	6.8	144.421	-	6	33.93
2	舟場橋	5.41	379.80	12.3	136.699	8.00	8	42.20
3	雫石川橋	4.40	471.63	24.0	135.284	-	10	42.60
4	西大橋	3.82	442.10	23.3	134.011	2.10	9	43.95
5	太田橋	2.15	493.10	21.5	127.836	3.40	9	30.00
6	杜の大橋	1.30	494.00	23.8	124.803	2.50	6	51.20
7	盛南大橋	0.53	429.00	23.8	125.156	3.00	7	46.50
8	下水道水道橋	0.48	438.60	6.0	128.846	2.00	7	47.00
9	JR新幹線	0.06	424.00	11.4	128.676	3.75	7	46.00
10	JR東北本線	0.06	251.96		122.000	2.00	12	10.15

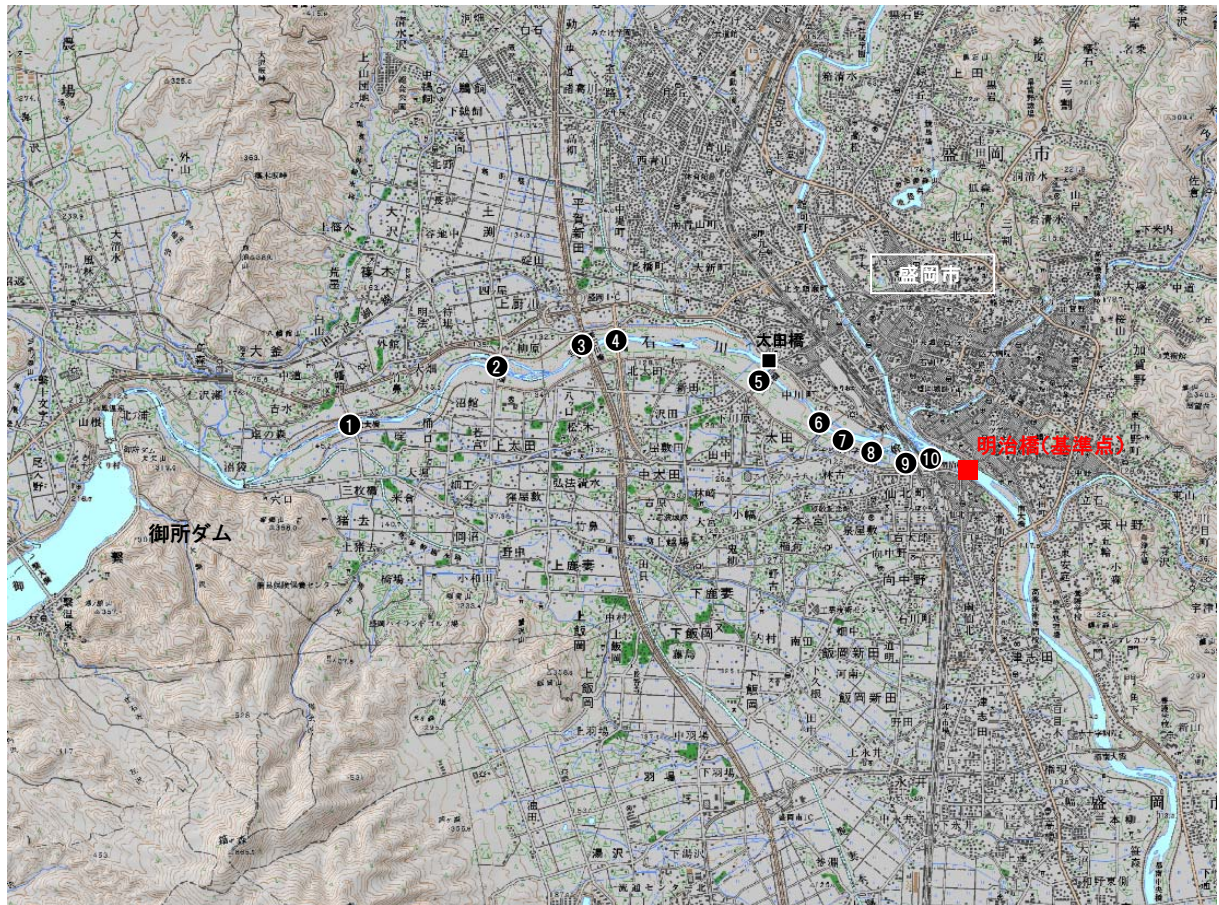


図 6.11 御所ダム下流の橋梁位置図

6.3.2 検討対象橋梁の選定

(1) 洪水時におけるダム下流の河川水位の整理

平成 25 年 8 月 9 日洪水において、御所ダムで洪水調節を行わなかった場合（ダムなし）と洪水調節実施後（ダムあり）の下流河川の流量を算定すると共に、各橋梁の桁下高を整理した。

洪水調節後の水位は、橋梁桁下高以下の水位となるが、ダムで洪水調節を行わなかった場合、JR 東北本線橋並びに杜の大橋において桁下高を上回る水位となる。

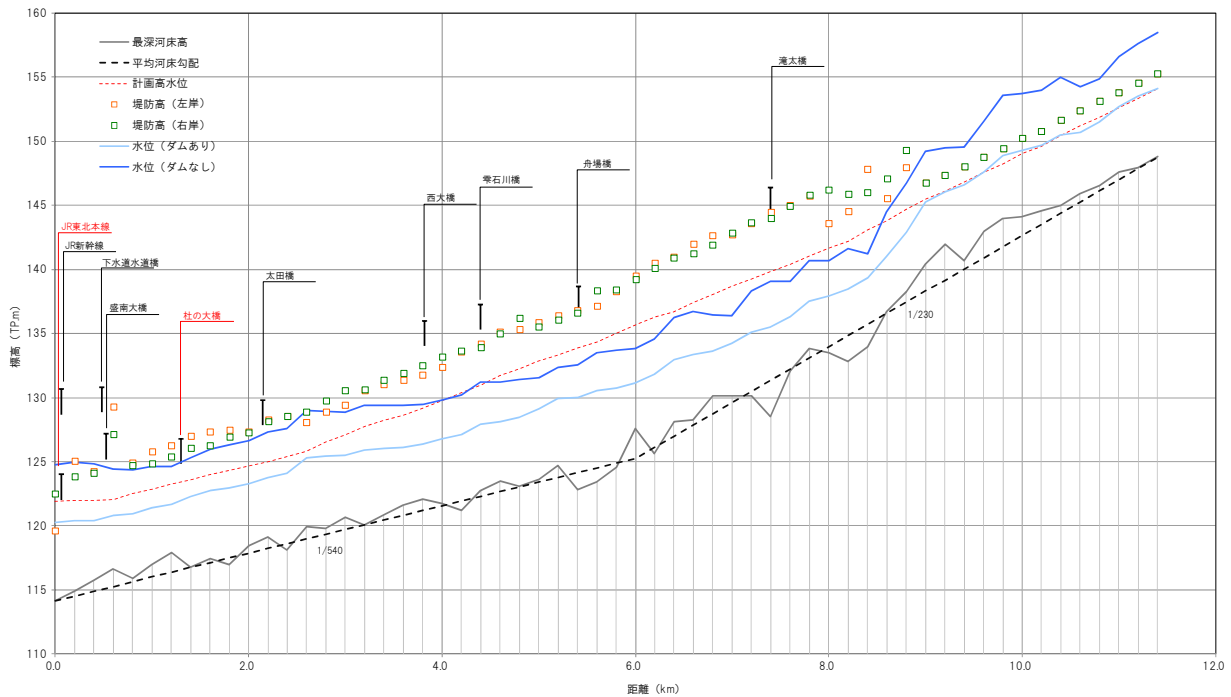


図 6.12 平成 25 年 8 月 9 日洪水時の水位縦断面図

(2) 検証対象橋梁の選定

検討対象橋梁は、以下の理由により「JR 東北本線橋」とした。これにより、御所ダム直下から JR 東北本線橋までが検討対象区間となる。

○検討対象橋梁：JR 東北本線橋

○検討対象区間：御所ダム直下～JR 東北本線橋

【検討対象橋梁の選定理由】

- ・ 北上川水系の治水基準点「明治橋」の近傍に位置する
- ・ 盛岡市街地近傍に位置する
- ・ 御所ダムで洪水調節を行わなかった場合の水位に対し、桁下高が低く、大量の流木集積が懸念される

(3) 流木集積が懸念される橋梁の抽出

検討対象区間に存在する橋梁において、以下に該当する橋梁において流木集積が生じるものとした。

【流木集積が懸念される橋梁】

- ・河川水位が橋梁桁下高を上回る橋梁
- ・河床勾配 1/400 程度以下の橋梁
- ・最小径間長が約 20m 未満の橋梁

この結果、流木集積が懸念される橋梁として、御所ダムで洪水調節を行った場合では 2 橋、洪水調節を行わなかった場合では 3 橋が抽出された。

表 6.8 流木集積が懸念される橋梁（御所ダムあり）

橋梁名	位置 (km)	河川水位が桁下高以上			河床勾配が1/400以下		最小径間長が20m以下		流木流積
		河川水位 (TP.m)	桁下高 (TP.m)	判定	平均河床勾配 1/N	判定	最小径間長 (m)	判定	
滝太橋	7.40	135.53	144.421		230	○	33.93		○
舟場橋	5.41	130.05	136.699		540		42.20		
雲石川橋	4.40	127.94	135.284		540		42.60		
西大橋	3.82	126.41	134.011		540		43.95		
太田橋	2.15	123.64	127.836		540		30.00		
杜の大橋	1.30	122.01	124.803		540		51.20		
盛南大橋	0.53	120.67	125.156		540		46.50		
下水道水道橋	0.48	120.57	128.846		540		47.00		
JR新幹線	0.06	120.33	128.676		540		46.00		
JR東北本線	0.06	120.33	122.000		540		10.15	○	○

表 6.9 流木集積が懸念される橋梁（御所ダムなし）

橋梁名	位置 (km)	河川水位が桁下高以上			河床勾配が1/400以下		最小径間長が20m以下		流木流積
		河川水位 (TP.m)	桁下高 (TP.m)	判定	平均河床勾配 1/N	判定	最小径間長 (m)	判定	
滝太橋	7.40	139.06	144.421		230	○	33.93		○
舟場橋	5.41	132.62	136.699		540		42.20		
雲石川橋	4.40	131.23	135.284		540		42.60		
西大橋	3.82	129.49	134.011		540		43.95		
太田橋	2.15	127.13	127.836		540		30.00		
杜の大橋	1.30	124.96	124.803	○	540		51.20		○
盛南大橋	0.53	124.55	125.156		540		46.50		
下水道水道橋	0.48	124.65	128.846		540		47.00		
JR新幹線	0.06	124.83	128.676		540		46.00		
JR東北本線	0.06	124.83	122.000	○	540		10.15	○	○

6.3.3 橋梁に到達する流木量の推定

(1) 流域からの流木流出量の推定

御所ダム流域は635km²であり、平成25年8月洪水時の流木捕捉量は25,000m³であった。

これに対し、御所ダム下流の河川地形は扇状地地形を呈しており、支川流域も水田や耕地等の平地である。このため、下流河川における流木発生量は、ダム直下の山付き部を対象とし、以下の方法により推定する。

○御所ダム流域 (635km²) 実績流木量 25,000m³

○下流流域 (1km²) 御所ダムでの流木捕捉量との面積比

$$25,000\text{m}^3 \times (1\text{ km}^2/635\text{ km}^2) = 39\text{ m}^3$$

推定した流木流出量を文献2に記載されている流出量 $V_g \sim$ 流域面積 A の関係図に示した結果、他ダムでの流木流出量と流域面積の関係内に納まっているため、推定値は妥当である。

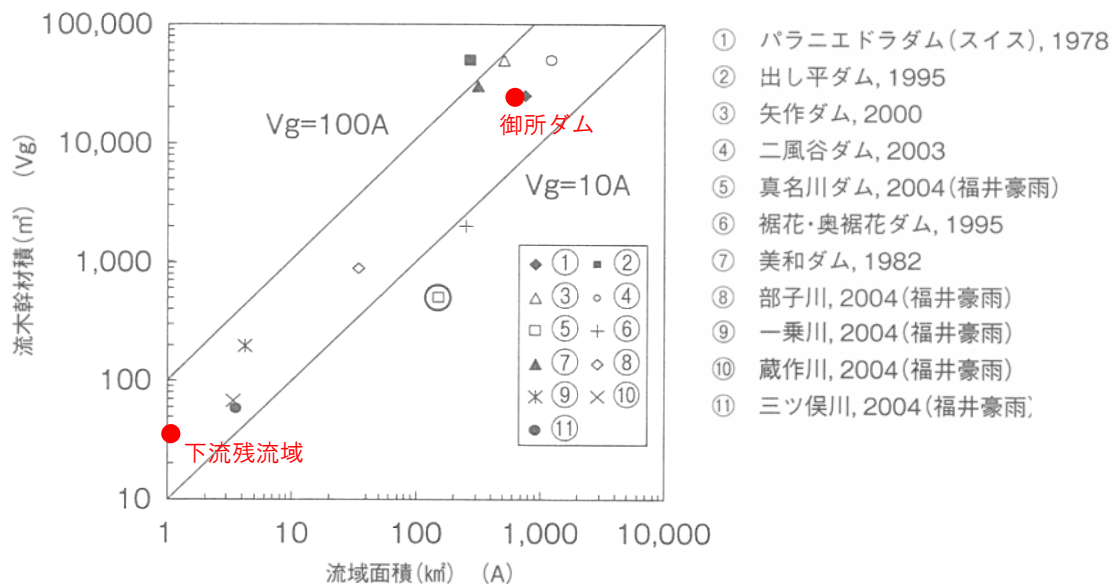


図 6.13 御所ダム、下流残流域における流域面積と流木量の関係

(2) 河道での流木回収量

検討対象区間（御所ダム直下～JR 東北本線橋）における流木回収実績を河川管理者へヒアリングした結果、御所ダムにおいて大半の流木を捕捉したため、下流河川での流木回収実績はないとのことであった。

(3) 橋梁での流木集積率の設定

文献 3 による既往研究成果から、流木捕捉が懸念される橋梁での流木集積率（当該橋梁での流木集積量／流木流下量）を以下の考え方のもとで設定した。

この結果、橋梁の最小径間長に応じて、流木集積率を 0.5%、6%とした。

表 6.10 流木の堰止め率（文献 3）

[流木集積率の設定の考え方]

- ・平成 25 年 8 月 9 日洪水は、御所ダムの計画流入量を上回る洪水であったため、流量の評価は「流量大」を使用する
- ・流木の種類は、大小様々な流木が流出するため「MIX」を使用する
- ・最小径間長 20m を境に流木集積による被害が生じていることを踏まえ、橋梁の最小径間長が 20m 未満の場合「径間長小」を使用し、20m 以上の場合には「径間長大」を使用する

橋脚の本数	流 量	流木の種類		せき止め率%	
2 (径間長大)	大 流量12,000㎢/sec 平均流速26cm/sec	大のみ		0.6	
		M I X	大	0	全体 0.5
			中	0	
	小	5			
	小 流量 4,400㎢/sec 平均流速 15.5cm/sec	大のみ		2	
		M I X	大	14	11
中			4		
小	18				
4 (径間長小)	大 流量12,200㎢/sec 平均流速28cm/sec	大のみ		3	
		M I X	大	6	6
			中	4	
	小	15			
	小 流量 4,400㎢/sec 平均流速16cm/sec	大のみ		22	
		M I X	大	65	55
中			38		
小	47				

(注) 大中小の混合割合は標準混合の60：30：10である。
大：割りばし，中：マッチ棒，小：麻ひも。

表 6.11 流木集積率の設定

橋梁名	最小径間長	流木集積率	備考
滝太橋	33.93m	0.5%	ダムあり、なし
杜の大橋	51.20m	0.5%	ダムなし
JR 東北本線橋	10.15	6%	ダムあり、なし

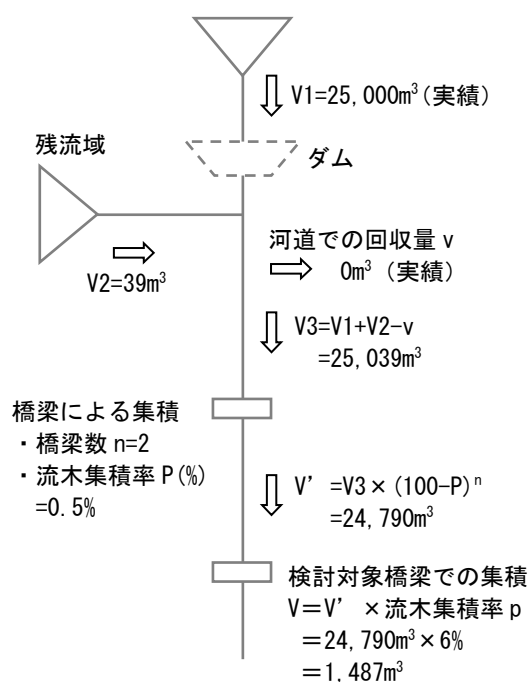
(4) 橋梁に到達する流木量の算定

以上で整理した流木流出量、橋梁での流木集積率等をもとに、JR 東北本線橋に到達、集積する流木量を算定した。

表 6.12 検討対象橋梁に到達する流木量の算定結果

		単位	ダムなし	ダムあり	備考
流域からの流木流出量	ダム V1	m ³	25,000	25,000	流域面積635km ²
	残流域 V2	m ³	39	39	流域面積 1km ²
河道での流木回収量	河道での回収量 v	m ³	0	0	実績値
	通過量 V3	m ³	25,039	39	=V1+V2-v
橋梁での流木集積量	集積が生じる橋梁数 n	橋	2	1	
	橋梁での流木集積率 P	%	0.5	0.5	
	通過量 V'	m ³	24,790	39	=V3 × (100-P) ⁿ
検討対象橋梁での流木集積量	橋梁での流木集積率 P	%	6	6	
	流木集積量 V	m ³	1,487	2	=V' × P

【御所ダムなし】



【御所ダムあり】

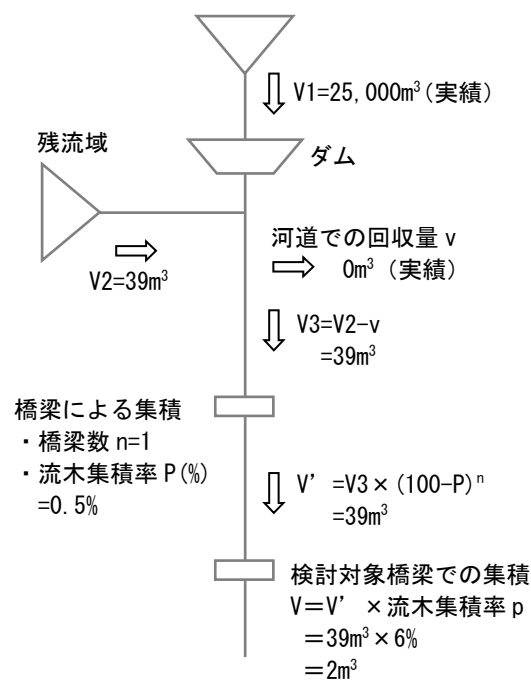


図 6.14 検討対象橋梁に到達する流木量の算定結果図

6.3.4 橋梁での流木集積による堰上げ量の算定

文献 4 の推定式をもとに、以下の仮定のもとで検討対象橋梁での流木集積による堰上げ量を算定した。

[堰上げ量算定にあたっての条件]

- ・ 橋梁に到達した流木は、橋梁の桁部分に集積すると仮定し、流木集積断面積 A を橋長 $L \times$ 桁高 h で求めた。
- ・ 定数 K を求めるための指数 m は、 $m=1$ を使用した。
- ・ 橋梁部の流速 v は、洪水流量 Q と橋梁部の河積 A から $v=Q/A$ で求めた。
- ・ 橋梁部の河積は、橋脚を考慮した橋梁有効幅と河床から桁下高までの水深をもとに求めた。

表 6.13 検討対象橋梁での流木集積による堰上げ量の算定結果

		単位	ダムなし	ダムあり	備考
流木集積量	V	m^3	1,487	2	
橋長	L	m	252	252	橋梁台帳より
桁高	H	m	2	2	橋梁台帳より
流木集積断面	A	m^2	504	504	$=L \times H$
定数	K		2.953	0.005	$=(V/A)^m, m=1$
洪水流量	Q	m^3/s	3,733	1,185	
橋梁部の有効幅	b	m	239.6	239.6	橋梁台帳より
桁下高までの水深	h	m	7.6	7.6	
橋梁部河積	A	m^2	1,821	1,821	$=b \times h$
流速	v	m/s	2.050	0.651	$=Q/A$
水位上昇量	Δh	m	0.63	0.00	$=K \times v^2/2g$

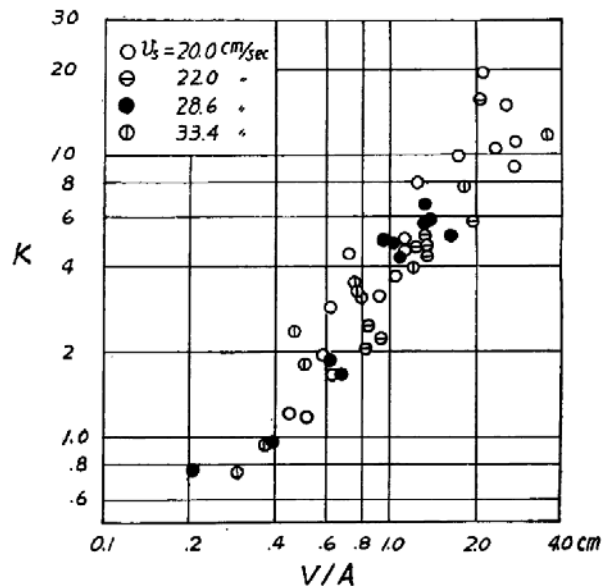
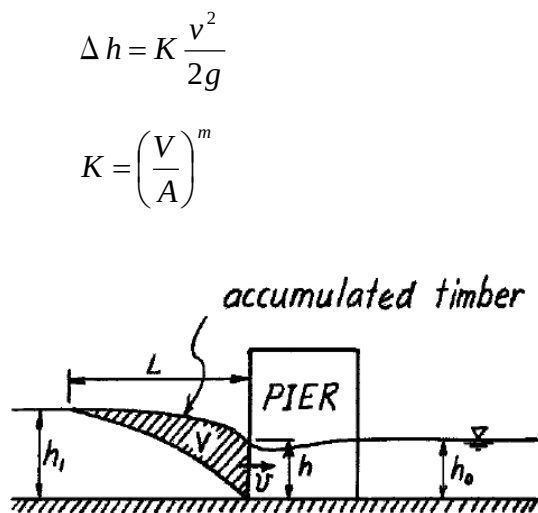


図 6.15 流木の堆積量と堰上げ高に関する模型実験結果（文献 4）

6.3.5 流木捕捉を考慮したダムによる下流河川の水位低減効果

流木捕捉による橋梁での流木集積に伴う堰上げに対する低減効果は、検討対象橋梁の直上流断面での水位低減効果として表す。

JR 東北本線橋の直上流断面は 0.2k であり、この地点における御所ダムによる水位低減効果は以下のとおりまとめられる。

表 6.14 御所ダムによる下流河川の水位低減効果

	流量	河川水位	
		河川流量のみ	流木集積による堰上げ考慮
御所ダムなし	3,733m ³ /s	TP.124.97m	TP.125.60m
御所ダムあり	1,185m ³ /s	TP.120.42m	TP.120.42m
低減効果	2,548m ³ /s	4.55m	5.18m

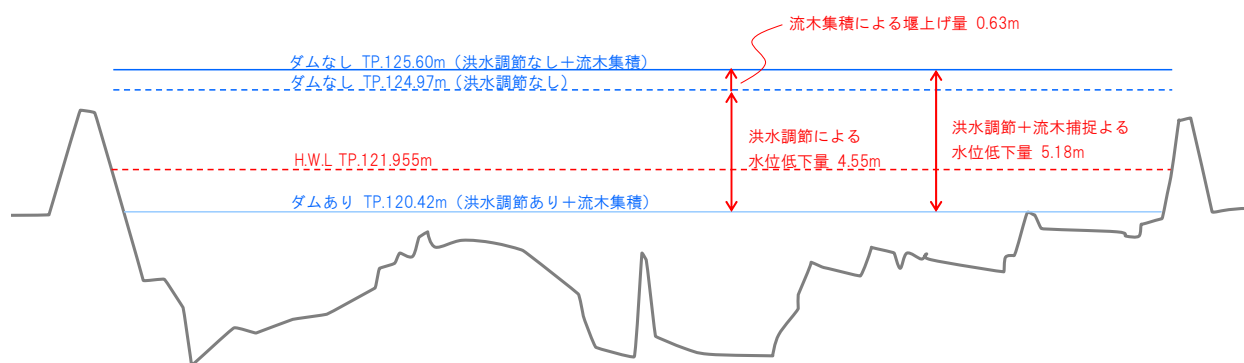


図 6.16 御所ダムによる下流河川の水位低減効果図（雫石川 0.2k）

6.4 【事例】寺内ダムにおける流木捕捉効果

本節では、ダムにおける流木捕捉効果の直近の事例として、平成 29 年の寺内ダム（筑後川水系佐田川）を抽出し、概要を記載する。

九州北部地方では、平成 29 年 7 月 5 日からの梅雨前線の影響により、寺内ダムの位置する佐田川流域において総雨量が 400mm を超える記録的な降雨となり、寺内ダムでは管理開始以降最大の流入量（888m³/s）を記録した。この出水に伴い、写真 6.5 に示すように、通常年の 80 倍以上に相当する約 10,000m³ の流木が貯水池に流入したが、これらの流木を網場で捕捉することにより、下流河川における流木被害を防止したといえる。

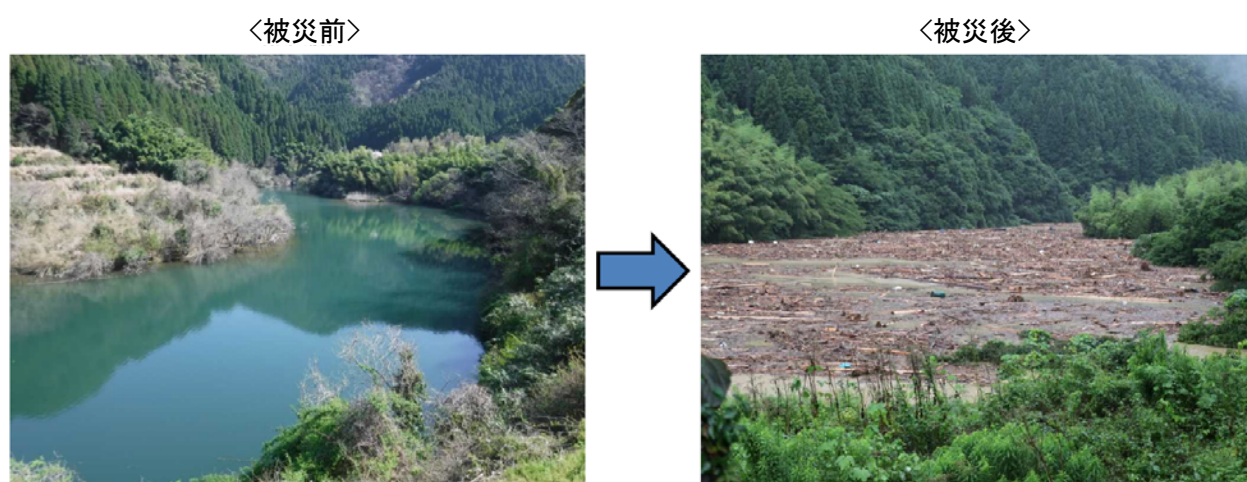


写真 6.5 寺内ダムの流木捕捉状況

また、寺内ダム上流域では、図 6.17 に示すように、河川沿いの樹木が土砂とともに河川内に流出して流木化していることが確認されている。図 6.17 の写真に示すように、これらは樹高が大きいものも多く、下流河川に流出した場合、橋脚等における河道閉塞の要因となったことが推定される。

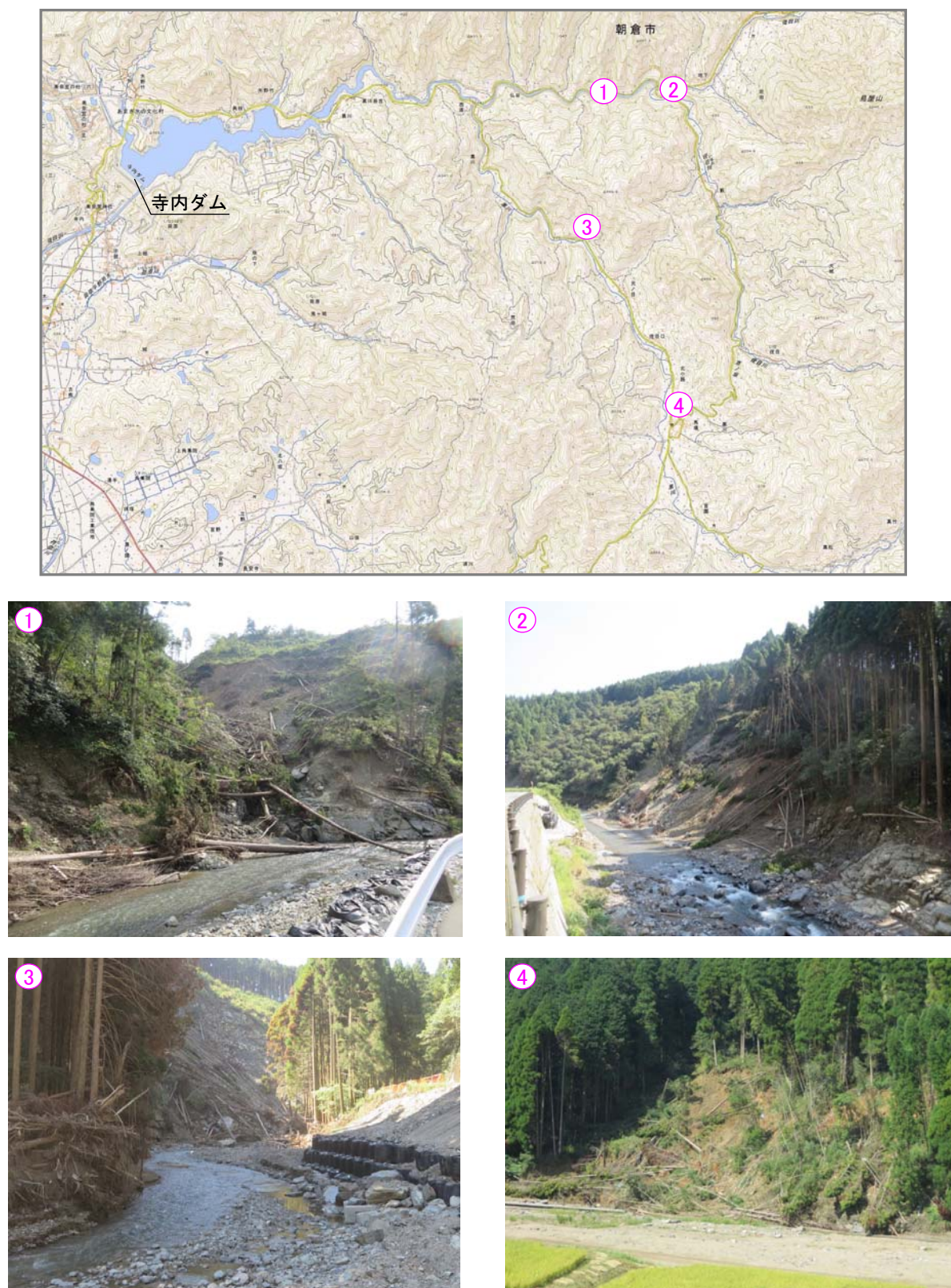


図 6.17 寺内ダム上流の流木発生状況

7. 関連資料の抜粋

林野庁では、平成 29 年 7 月に発生した九州北部豪雨を対象とし、流木災害を含む山地災害の実態把握や山腹崩壊の発生メカニズムの分析・検証等を行うため、「流木災害等に対する治山対策検討チーム」を設置している。

本章では、平成 29 年 11 月時点の「流木災害等に対する治山対策検討チーム」中間取りまとめから、本手引きに関連する内容として、流木の発生源等に言及した箇所を抜粋し、以下に記載するものとする。

1 被災状況

(1) 気象状況及び被害の概要

九州北部地域では、7 月 5 日から 6 日にかけて、対馬海峡付近に停滞した梅雨前線に向かって、暖かく非常に湿った空気が流れ込んだ影響等により、線状降水帯^{※1}が形成・維持されたことから、記録的な大雨が観測された。気象庁により「平成 29 年 7 月九州北部豪雨（以下「九州北部豪雨」という。）」と命名されたこの豪雨では、福岡県朝倉市で 545.5mm（福岡県朝倉市黒川の北小路公民館観測所では 829mm）、大分県日田市で 370.0mm の 24 時間降水量や、朝倉市で 129.5mm、日田市で 87.5mm の 1 時間降水量等が観測された。

この豪雨により、多数の山腹崩壊や河川の氾濫等が発生するとともに、死者 37 名、行方不明者 4 名の人的被害や全壊 288 棟、半壊・一部破損 1,123 棟の住宅被害^{※2}など、甚大な被害が発生した。

また、林野関係施設等の被害は、福岡県及び大分県全体で、林地荒廃 1,077 か所、治山施設 8 か所、林道施設等 1,564 か所、木材加工・流通施設 16 か所、特用林産施設等 16 か所^{※3}に及び、被害額は約 350 億円となっている。

※1 次々と発生する発達した雨雲（積乱雲）が列をなした、組織化した積乱雲群によって、数時間にわたってほぼ同じ場所を通過又は停滞することで作り出される、線状に伸びる長さ 50～300km 程度、幅 20～50km 程度の強い降水を伴う雨域。（出典：気象庁 HP）

※2 平成 29 年 9 月 8 日現在。（出典：消防庁 HP）

※3 平成 29 年 10 月 2 日現在。

林野庁「流木災害等に対する治山対策検討チーム」中間取りまとめ（H29.11）より抜粋

(2) 山地災害の概要

福岡県朝倉市及び東峰村並びに大分県日田市の森林地域^{※4}における山腹崩壊地の合計面積は約 357ha^{※5}であり、これに伴い被害を受けた立木の量は約 19 万 m³^{※6}と推計され、その大部分が流木となったと考えられる。なお、発生土砂量については、九州大学の研究グループから、福岡県内のみで約 1,000 万 m³を超えることが報告されている。

林野庁、森林総合研究所、福岡県及び大分県による現地合同調査など、災害発生直後より行政機関、研究機関及び学術団体による山腹崩壊等に関する現地調査が行われた。これらの調査により確認された現地の状況は以下のとおりである。

- 山腹崩壊地の地質は、変成岩類、深成岩類、火山岩類など多様であった。
- 山腹崩壊の多くは、豪雨により地下に浸透した水が集まりやすい凹地形で発生しており、そこから生じた崩壊土砂の流下により溪流部の荒廃が生じていた。
- 調査を行った山腹崩壊地の崩壊の深さは、ほとんどの調査箇所において 3m 程度で、一部 10m を超えるものもあるが、いずれも立木の根系が及ばない深さであった。また、崩壊面を観察したところ、風化した基岩において崩壊が発生していた。
- 山腹崩壊地における根が露出している立木（スギ、ヒノキ等）の根系は、調査箇所により状況は異なるものの、おおむね 1～2m の深さまで発達するとともに、水平方向にも 1.5～2m 程度発達していた（当該地域のスギは、挿し木苗を使用しているものが相当数あると考えられるが、その立木の根系は、一般的なスギの根系発達の特徴^{※7}である深根型の発達がみられた。）。
- 山腹崩壊地や流下部に残存していた倒木や流木は、根付きの状態であり、山腹崩壊地における根が露出している立木（スギ、ヒノキ等）の根系と同程度の発達がみられた。
- 調査を行った既設の治山ダムでは、一部損壊が認められたものの、上流から流下した崩壊土砂や流木を捕捉していた。とりわけ流木捕捉式治山ダムでは、その上流部から流下した流木を効果的に捕捉していた。
- 溪流内に堆積している流木は根付きの状態のものがほとんどであり、幹が折損しているものも多数あった。なお、サンプル調査を実施したところ、林内で伐採されたと考えられる丸太も存在していたが、ごく一部^{※8}であった。
- 山腹崩壊地周辺の林内において間伐後に存置されていた丸太等については、豪雨等により移動した形跡は確認されなかった。

※4 森林法第5条に基づく地域森林計画及び同法第7条の2に基づく国有林の地域別の森林計画の対象となる森林。

※5 平成 29 年8月末現在。九州森林管理局、福岡県及び大分県が、国土地理院の被災後のオルソ画像による判読結果を基に、伐採跡地、無立木地を除いた面積を算出。

※6 国土地理院の被災後のオルソ画像による判読結果を基に被害森林（伐採跡地、無立木地は除く。）を特定し、被害森林について森林簿から算出した樹幹材積（12 万 m³）を、次式により枝葉と地下部を含めた値に補正（枝葉と地下部を含めた値の算出には、二酸化炭素の森林吸収量を算定する際の拡大係数及び地下部・地上部比（スギ 21 年生以上）を使用。）。被害立木量＝樹幹材積×枝葉 1.23×根 1.25

※7 スギの根系は深根型とされており、50 年生のものでは、数本の太い垂下根又は斜出根が発達して地上部を支える形となる。（出典：樹木根系図説、誠文堂新光社）

※8 林野庁が流木の堆積箇所（福岡県朝倉市及び東峰村、大分県日田市）でサンプル調査を行った結果によるもの。調査した流木のうち、切断面があったものの本数割合は2％程度であった。なお、今回の調査で確認された切断面のある流木のほとんどが 2m 以下であった。これにより、調査した流木のうち切断面のあったものの材積割合は 0.5％程度と推計される。

林野庁「流木災害等に対する治山対策検討チーム」中間取りまとめ（H29.11）より抜粋

(3) 山地災害の発生メカニズム

ア 山地災害の発生に関係する諸因子の分析

山地災害は、一般に気象条件のほか、地形、地質、林況等が発生の要因となることから、これらに着目した現地調査とデータ分析を行った。

なお、データ分析にあたっては、朝倉市、東峰村及び日田市の森林地域を対象とし、九州森林管理局、福岡県及び大分県が作成した崩壊地分布データと既往データ（気象、地形、地質、林況データ等）を重ね合わせるにより実施した。

① 雨 量

レーダ雨量観測データ^{※9}によると、一部データ欠損のエリアがあるものの、山腹崩壊地は日降水量 500mm を超えた地域を中心に分布している。日降水量に関して、7月5日に朝倉市で観測された 516mm は、昭和 55 年以降（過去 37 年間）の年最大日降水量の平均値の約 3.9 倍、日田市で観測された 336mm は同様に約 2.6 倍となる。

降雨の特徴として、朝倉市では、降り始めから 13 時間後に累積雨量が 500mm を超え、その間、1 時間降水量が 50mm を超える強雨が延べ 4 時間観測された。また、日田市では、降り始めから 8 時間後に累積雨量が 300mm を超え、その間、1 時間降水量が 50mm を超える強雨が延べ 2 時間観測された。

このように、今回の山地災害の発生には、記録的な豪雨が大きく影響したものと考えられる。

② 地 質

森林地域全体での地質の分布割合は、火山岩類（安山岩、玄武岩）が 55% と最も多く、次いで火砕流堆積物が 17%、変成岩類（結晶片岩）が 16% となっている。

一方、山腹崩壊地での地質の分布割合は、変成岩類（結晶片岩）が 61% と最も多く、次いで森林地域での地質の分布割合が 3% である深成岩類（花崗閃緑岩）が 20%、火山岩類（安山岩、玄武岩）が 16% となっている。

また、地質別の森林地域全体の面積に占める山腹崩壊地の面積割合である地質別の崩壊面積率を算出したところ、

- ・深成岩類（花崗閃緑岩）：2.9%
- ・変成岩類（結晶片岩）：1.9%

となり、深成岩類（花崗閃緑岩）や変成岩類（結晶片岩）は、山腹崩壊が生じやすいとの結果が得られた。

また、日田市小野地区で発生した大規模な崩壊は、過去の地すべりあるいは崩壊で生じた崩土の再移動により生じたものであり^{※10}、他の崩壊とは発生メカニズムが異なると考えられる。

③ 斜面傾斜度^{※11}

森林地域全体での斜面傾斜角の最頻値は 26°、山腹崩壊地での最頻値は 32° となっている。また、山腹崩壊地の斜面傾斜分布は、森林地域全体での斜面傾斜分布と比較すると、26°～42° の範囲が多くなっている。

このことから、山腹崩壊の発生には、比較的傾斜の急な地形が影響したものと考えられる。

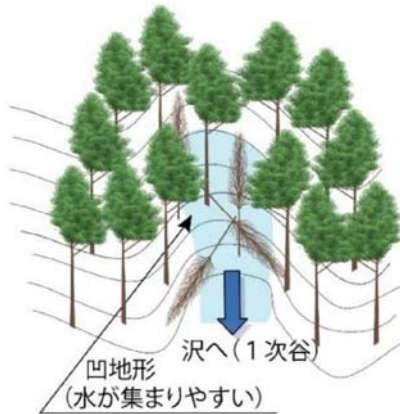
④ 尾根谷度^{※12}

尾根谷度の分布は、森林地域全体については尾根部に偏っており（谷：尾根＝41：59）、山腹崩壊地については谷部（凹地形）に偏る傾向が顕著（谷：尾根＝68：32）となった。

このことから、山腹崩壊の発生には、0 次谷（明瞭な流路を持たない谷頭の集水地形）を含む、谷部（凹地形）が影響したものと考えられる。

林野庁「流木災害等に対する治山対策検討チーム」中間取りまとめ（H29.11）より抜粋

0次谷のイメージ図（着色部分）



資料：長野県林務部「災害に強い森林づくり指針」

⑤ 樹 種

樹種と尾根谷度との関係について、森林地域全体におけるスギ、ヒノキ、広葉樹は、各樹種とも尾根部に偏って分布しており（スギ：54%、ヒノキ：62%、広葉樹：59%）、山腹崩壊地については、各樹種とも谷部（凹地形）に著しく偏って分布している（スギ：76%、ヒノキ：66%、広葉樹：68%）。

このことから、①～④までの分析も踏まえると、今回の山腹崩壊の発生は、樹種の違いよりも地形条件等の違いによる影響が大きいと考えられる。

⑥ 林 齢

森林地域全体における人工林齢級別面積の割合は、10～13 齢級の壮齢林が全体の 45%と約半分を占めている。山腹崩壊地における人工林齢級別面積の割合は、10～13 齢級が全体の 52%と過半数を占めている。

このことから、壮齢林における山腹崩壊の発生が大量の流木の発生につながったと考えられる。

一方、人工林齢級別の森林地域全体の面積に占める山腹崩壊地の面積割合である人工林の齢級別の崩壊面積率を算出したところ、1 齢級が 5.1%、2 齢級が 2.2%、3 齢級以上の平均値が 0.2% となり、1～2 齢級の幼齢林の林分で山腹崩壊が生じやすいとの結果が得られた。

このことから、立木の成長に伴う根系の発達等により、山腹崩壊が抑制されたものと考えられる。

なお、1～2 齢級林分の崩壊状況を一部確認したところ、深さ 1～2m 程度の表層崩壊が生じていた。

⑦ 施業の有無

間伐等施業の有無と山腹崩壊との関係については、スギ・ヒノキ人工林を対象として、過去 10 年間（平成 19 年～28 年）の除伐、保育間伐、間伐及び更新伐の施業履歴の有無を基に分析した。

施業履歴の有無別の森林地域全体の面積に占める山腹崩壊地の面積割合である崩壊面積率を算出したところ、福岡県（朝倉市、東峰村）では「施業履歴なし」が 1.9%、「施業履歴あり」が 1.3%、大分県（日田市）では「施業履歴なし」が 0.13%、「施業履歴あり」が 0.08%となっており、いずれも「施業履歴なし」が「施業履歴あり」を上回る結果となった。

林野庁「流木災害等に対する治山対策検討チーム」中間取りまとめ（H29.11）より抜粋

①～④までの分析も踏まえると、今回の山腹崩壊の発生は、施業の有無よりも地形条件等の違いによる影響が大きいと考えられるが、わずかながら「施業履歴なし」が「施業履歴あり」を上回る結果となったことからすれば、間伐等の実施が山腹崩壊の防止に少なからず効果を発揮した可能性もあると考えられる。なお、適期の間伐は、太い根系を多くし森林の崩壊防止力を高めることに有効^{*13} されている。

※9 データ統合・解析システム (DIAS : Data Integration and Analysis System : データ統合・解析システム、文部科学省が所管する、地球観測データ、社会経済データを効果的に統合・分析するシステム) 及び XRAIN リアルタイム雨量情報システム (国土交通省により設置された国土交通省 X バンド MP レーダネットワーク。これにより、250m四方の細かい雨の分布を観測することが可能。) より作成。

※10 出典：公益社団法人砂防学会 2017 年九州北部豪雨災害第一次緊急調査報告 (平成 29 年 8 月 28 日)

※11 斜面に 10m×10m の仮想メッシュを設定し、該当メッシュとその周辺メッシュの最大の高度差を斜面の傾きとして示した指標。

※12 斜面全体の傾斜度とは関係なく、斜面に 10m×10m の仮想メッシュを設定したうえで、該当メッシュが尾根か谷かを示す指標。谷部 (凹地形) ではマイナス、尾根部 (凸地形) ではプラス、平坦部はゼロの値を示す。

※13 出典：北原 曜(2010)森林根系の崩壊防止機能, 水利科学 NO.311 11-37

イ 諸因子の分析を踏まえた山地災害の発生メカニズム

現地調査及び崩壊地分布データと既往データの重ね合わせによる分析結果を踏まえると、今回の山地災害の発生メカニズムは基本的に以下のとおりと考えられる。

① 1 時間降水量 50mm を上回るような強雨が長時間連続し、平年の年最大日降水量を大きく上回る記録的な豪雨が発生。

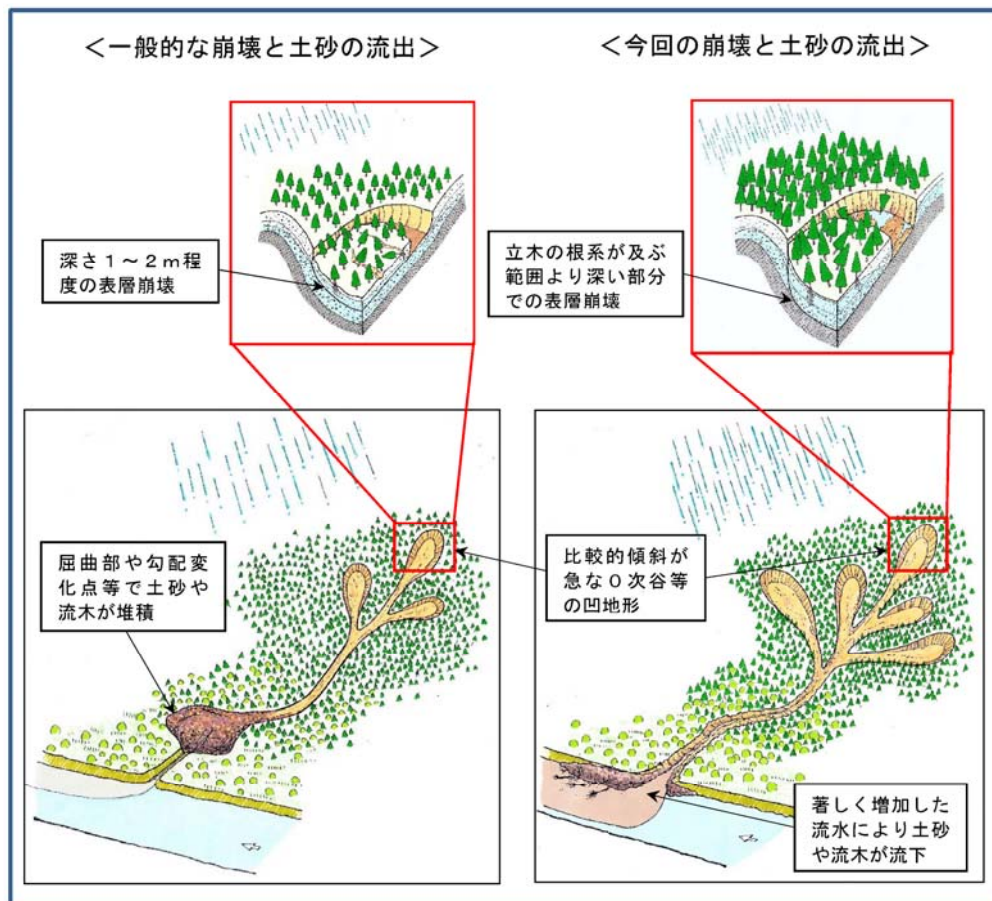
② この豪雨による多量の雨水が、周辺森林から比較的傾斜が急な斜面における 0 次谷等の凹地形へ短時間に集中し、土壌水分の飽和を伴いながら深い部分まで浸透したことから、立木の根系が及ぶ範囲より深い部分で表層崩壊が発生。

スギの根系は、壮齡林化に伴いおおむね 1～2m 程度の深さまで発達していたことが現地調査において確認されたが、今回の山腹崩壊は、その多くが根系の深さよりも深い、風化した基岩層部分から生じたため、樹種の差異にかかわらず崩壊が生じる結果となった。なお、山腹崩壊は、深成岩類 (花崗閃緑岩) や変成岩類 (結晶片岩) からなる地質において、他の地質よりもその発生割合が高かった。

③ 山腹崩壊地に生育していた立木と崩壊土砂が、多量の降雨のため著しく増加した流水により、溪流周辺の立木や土砂を巻き込みながら下流域に流下。

一般的な山腹崩壊であれば、山腹崩壊地に生育していた立木と崩壊土砂の多くは、斜面下部や溪床内に堆積するが、今回の災害では多量の降雨のため著しく増加した流水により、斜面下部等に堆積することなく溪流周辺の立木と土砂を巻き込みながら流下したことから、下流域での流木量が増加したと考えられる。

林野庁「流木災害等に対する治山対策検討チーム」中間取りまとめ (H29.11) より抜粋



2 災害を踏まえた今後の課題

治山事業は、機能の低下した森林の整備や治山施設の設置等を通じて、国土の保全、水源の涵養等の森林の有する多面的機能を持続的に発揮させるとともに、山地災害から国民の生命・財産を保全することを目的とする極めて重要な国土保全施策の一つである。

戦後、森林が荒廃した、あるいは幼齢林だった時代には、台風や豪雨等によって大規模な山腹崩壊や洪水等が発生し、現在では考えられないような甚大な被害をもたらした。これに対応し、先述した治山事業の目的を達成するため、先人達の努力により森林の造成や治山施設の整備等が行われてきた結果、森林の成熟化に伴い、山地災害防止機能が高まることにより、山地災害の発生が抑制されてきたところである。

しかし、近年、地球温暖化により、極端な降水がより強く、より頻繁となる可能性が非常に高いことが指摘されているなど、今後、山腹崩壊等の山地災害の発生リスクが一層高まることが懸念されている。このような中で、壮齢林を中心に山腹崩壊等が発生した場合、山腹崩壊地に生育していた立木と崩壊土砂が溪流周辺の立木や土砂を巻き込みながら流下することにより、大量の流木が発生するといった、新たな課題が生じている。

これらの課題の解決にあたっては、過去の経験やこれまでの技術的蓄積を踏まえ、森林の山地災害防止機能の向上を図ることを基本としたうえで、壮齢林を中心に大規模な山腹崩壊が発生する場合も想定し、下流域での流木による被害を防止・軽減するため、森林域においてよりきめ細かな対策を実施していくことが重要である。

林野庁「流木災害等に対する治山対策検討チーム」中間取りまとめ（H29.11）より抜粋