

戸蔦別川流域における 計画流木量及び流木捕捉工の配置検討について ～平成 28 年 8 月豪雨による流木移動実態を踏まえて～

帯広開発建設部 治水課 ○秋山 瑤貴
川井 淳一
川住 亮太

平成 28 年 8 月に日高山脈の高標高地域を中心に 3 日間雨量 500mm を超える豪雨が発生し、十勝川流域では広い範囲で斜面崩壊や河川での側岸侵食が発生した。これに伴い大量の流木が流出しており、特に戸蔦別川流域では顕著な流木堆積が確認された。本研究は、戸蔦別川流域を対象に、現地調査、航空写真判読、LP データ差分解析により流木の移動動態把握を行い、計画流木量及び流木捕捉工の施設配置について検討を行った。

キーワード：流木対策、流木捕捉工、流木動態、施設配置計画

1. はじめに

大規模出水時に発生・流下する流木による災害は多くの報告事例があり、橋梁等を閉塞して土砂洪水氾濫を助長する例¹⁾、海へ流出し港湾機能等の支障や漁場への被害、流木処理費用の負担等が問題となっている²⁾。近年の気候変動などの影響で土砂災害は頻発化、激甚化、同時多発化する傾向にあり、流木に対する対策が土砂洪水氾濫被害を防止軽減するための対策として重要である。効果的な流木対策を計画する上では、流域における大規模出水時の流木の発生・流下・堆積の実態把握や発生流木量や流木流出率等の検討が重要な基礎資料になる。

本研究では図-1 に示す北海道東部十勝川水系札内川支流の戸蔦別川流域において、平成 28 年 8 月台風 10 号に伴う豪雨により発生した大量の流木について、流域面積 153.4 km² の直轄砂防区域全域を対象として立木・堆積

流木等の現地調査、災害前後の 2 時期の航空レーザー測量(以下、LP 測量)等から土砂及び流木の移動実態を把握し、流木発生から流出に至るメカニズムを解析し、流出流木量の推定を行い、流木対策工の配置計画を立案した。なお、本報告は砂防学会誌に投稿された工藤らによる平成 28 年 8 月豪雨による北海道戸蔦別川流域の流木実態と流木量の推定³⁾の一部に加筆したものである。

2. 平成 28 年 8 月豪雨に伴う戸蔦別川流域の流木の実態

(1) 戸蔦別川流域の概要

戸蔦別川は十勝川水系札内川の支流であり、その直轄砂防区域は岩内川合流点より上流の流域面積 153.4 km² の流域である。対象範囲のうち最上流部の約 6 km の区間が急勾配で V 字谷を主体とする山地区間、それより下流の戸蔦別川橋から拓成橋までは幅広の谷底平野を主体とし、拓成橋より下流は扇状地区間である。

流域内の砂防施設は平成 28 年 8 月豪雨時点で直轄事業として 5 基の砂防堰堤、下流の扇状地区間に床固工群が整備されていた。これらのほか、治山施設として本川に堰堤が、支流のオピリネツ川及びピリカペタヌ沢川に谷止工や流路工が整備されていた。流木捕捉を目的とした施設の設置は流域内には無い状況であった。

(2) 平成 28 年 8 月豪雨の特性と土砂移動動態の既往調査

平成 28 年 8 月 28 日～31 日に台風 10 号が北海道へ接近して北海道の十勝・上川・日高地方を中心に豪雨となり、十勝川水系、石狩川水系等で河川の氾濫や土砂災害

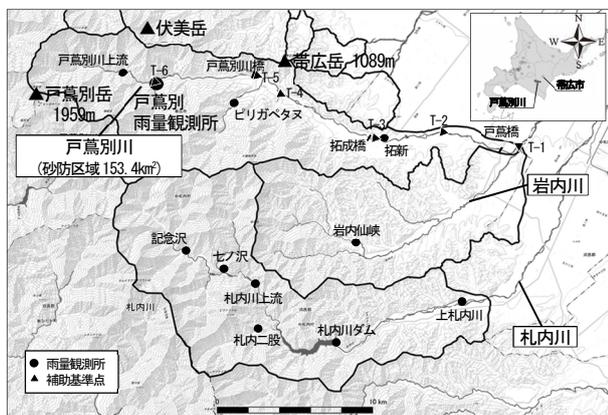


図-1 調査対象位置図

が発生した。この降雨は日高山脈周辺で3日間雨量が500mmを超過し、図-3に示すように上流域の戸蔭別雨量観測所では累加雨量532mmを記録し、既往最大雨量314mm（平成13年9月）を大きく上回った⁹⁾。

図-4⁷⁾に示すように、札内川上流から戸蔭別川上流にかけて24時間解析雨量⁷⁾が200mm以上の範囲が分布しており、特に戸蔭別川流域において崩壊地が概ねこの範囲に多く分布している。なお、本研究は札内川砂防基本計画検討に関する事業に関連して行われており、岩内川は北海道へ移譲済みのため解析範囲に含まれていない。

この豪雨により図-4に示すように戸蔭別川上流の山地区間では多くの崩壊や土石流の発生、谷底平野や下流の扇状地区間では段丘の侵食等が生じ、大量の土砂や流木が発生し下流へ流出した。LP測量に基づく解析結果によれば、流域内で約400万m³の土砂が生産され、そのうち260万m³が補助基準点T-1下流に流出したと報告されている⁷⁾。

(3)平成28年豪雨による流木移動実態の調査

a) 空中写真及び航空レーザー測量による差分解析

LP測量で撮影された2時期（豪雨前：平成25年9月～10月、豪雨後：平成28年9月～11月）の空中写真を比較・判読し、崩壊や溪岸侵食等による立木の流出範囲と河道における流木の堆積範囲を抽出した。これらのLP測量結果から地形変化量の差分解析を行い、流木堆積範囲の地形変化量を流木溜りの見かけの容積とした。

b) UAV及び現地調査による流木流出・堆積状況の調査

岩内川合流点～ピリカペタヌ沢川合流点付近までの範囲を対象にUAVにより崩壊地や河道内の写真を撮影し、立木の流出・堆積範囲、河道への流木堆積範囲の写真判読を行うとともに、現地調査により空中写真判読から流木流出・堆積範囲を抽出した結果を確認した。

c) 現地調査による流木堆積量の調査

立木の材積を求めるためにコドラート調査、流木溜りの純容積率調査を実施した。コドラート調査はピリカペタヌ沢川合流点～補助基準点T-1までの本川低位段丘上の河畔林14箇所を対象に10m×10m範囲の立木について樹種、胸高直径、高さを計測した。流木溜りの純容積率は、堆積している流木の実容積を集計し、LP差分による流木溜りの見掛けの容積を分母として、この実容積を分子として求める。流木の実容積は、オピリネップ川合流点～補助基準点T-1までの本川河道に堆積した流木溜り7箇所を対象に、流木溜りを構成する長さ1m以上、元口径10cm以上の流木全ての径（元口径と末口径）と長さを計測した。

(4)調査・解析結果

前節a)、b)に述べた空中写真判読及び現地調査により抽出した立木の流出範囲・流出形態、流木堆積箇所・範囲について前節c)の現地調査箇所と合わせて図-5に、流木溜りの実容積、流木溜りの見かけ容積、純容積率を表-1に示す。

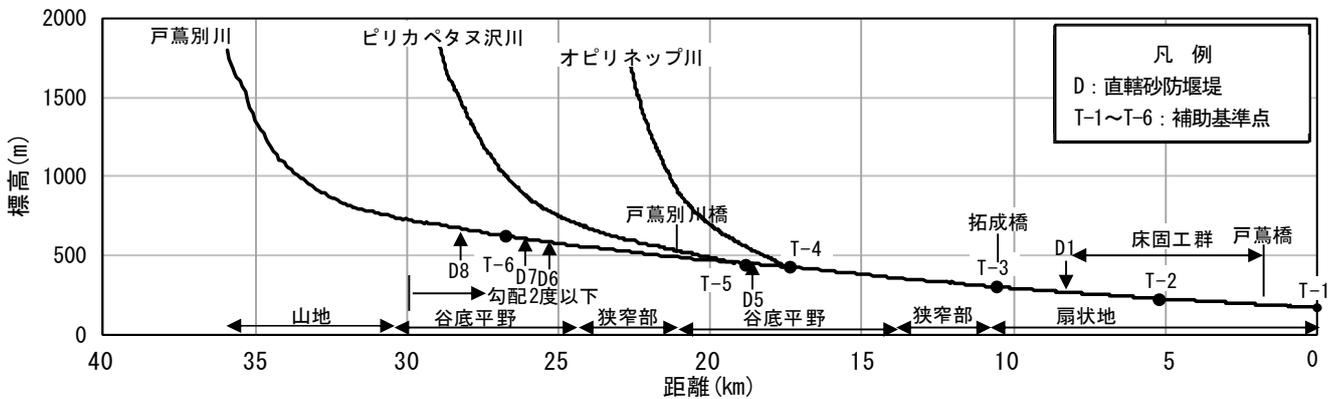


図-2 対象流域の縦断面図

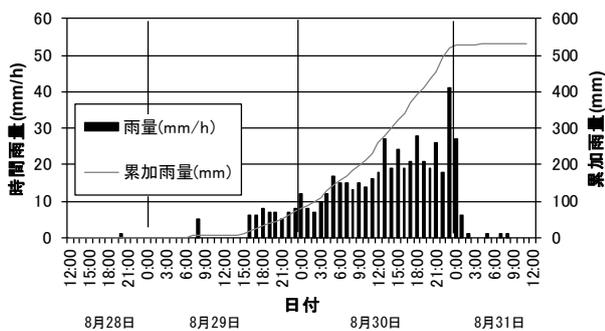


図-3 時間雨量と累加雨量（戸蔭別雨量観測所）

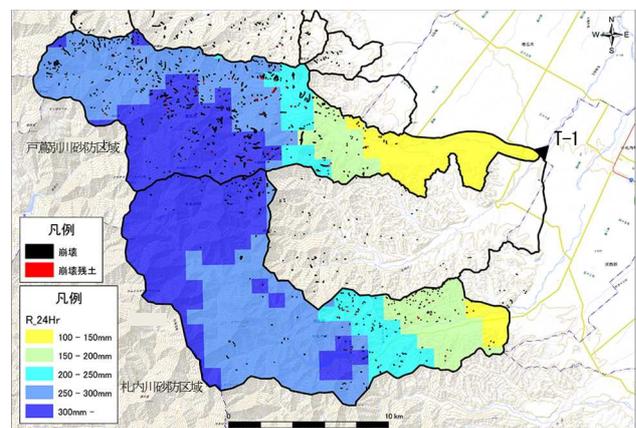


図-4 24時間解析雨量と崩壊地の分布⁷⁾

LP 差分解析結果より、斜面崩壊や土石流による溪岸侵食、出水時の流路変動による低位段丘の側岸侵食を原因とする立木の流出が主体であることがわかった。また流木の堆積についても砂州等の上に集合して堆積しているもの、単木で堆積しているものが見られた。流域内でも特にオピリネップ川、ピリカペタヌ沢川、戸蔦別川第 6 号砂防堰堤より下流の谷底平野～扇状地区間の氾濫原では側岸侵食に伴い河道や河岸段丘の河畔林が図-5 の緑色に示したように広範囲に流出している。例としてピリカペタヌ沢川の流木流出範囲の空中写真を図-6 に示す。このように流木の発生は土砂移動現象と密接に関係していることが推察された。

(5) 戸蔦別川における土砂移動動態の解析

地形変化量の LP 差分解析及び現地調査の結果、土砂の生産形態として①斜面崩壊、②河床堆積土砂の再移動、③土石流区間における溪岸侵食、④掃流区間における低位段丘の側岸侵食、⑤掃流区間における低位段丘面の縦侵食(新たな滲筋の形成)の形態が認められた。ただし、上記③④は図-7、図-8 に示すとおり類似する現象であり、また上記②～⑤は差分解析において区分することが困難なため②～⑤を合計して解析を行った。

このように解析した土砂量と合わせて、流木の生産形態も同様に②～⑤を同一の区分(後述する A: 立木の流出)として集計した。流出した流木は、図-9 のように谷底平野や扇状地の河道に複数本が集積した流木溜りを形成して堆積しているものが多く、特にピリカペタヌ沢川

中流～下流、オピリネップ川、本川の第 5 号砂防堰堤より下流に集中して分布している。また、オピリネップ川、ピリカペタヌ沢川の支川や本川左岸の支川においては、斜面崩壊や土石流による立木の流出が顕著にみられる。このほか、図-10 のように、ごく稀に河道に堆積した土砂の中に埋没している流木も見られた。

3. 流木収支の推定

現地調査や空中写真判読の結果から、流木の発生源は A: 崩壊、溪岸侵食、低位段丘の侵食および河道の侵食に伴う立木の流出、B: 河床堆積物中の埋没流木の流出、C: 豪雨前に河道に堆積していた流木の再流出の 3 種類、流木の堆積は D: 河床堆積物中に再埋没、E: 河道に流木溜りとして堆積の 2 種類に区分し、流木の発生・堆積・流出のメカニズムを図-11 及び表-2 に示すように単純化して定量化を行った。単元流域毎の発生流木量は、豪雨前後の航空写真から裸地化した面積に立木密度・単木材積を乗じて算出し、立木密度及び単木材積は森林調査簿及び立木のコードラート調査結果を用いて推定した。

A: 立木の流出量は、空中写真判読による立木流出面積に立木密度を乗じて求めた。立木密度は林野庁による材積、現地コードラート調査結果を用いて算出した。B: 埋没流木の流出量は、溪岸・河床侵食土砂量の 0.6% に相当する流木が侵食により再流木化したと考えた。戸蔦別川の砂防堰堤除石工事で掘削土砂量の 0.6% に相当する流木の含有があったことからその実績を採用している。C: 河

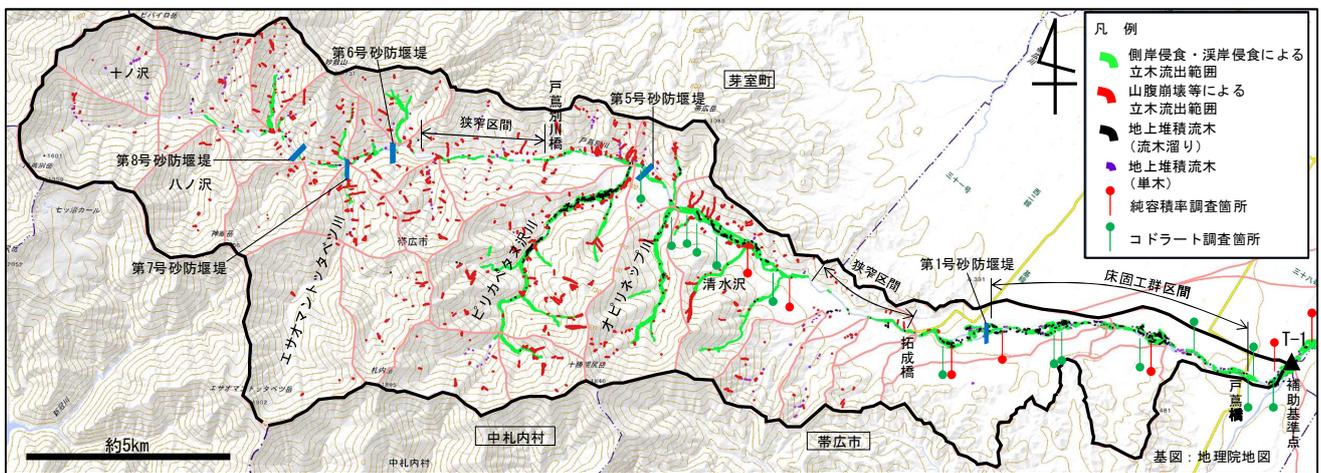


図-5 純容積率・コードラート調査箇所及び流木発生形態別の流出・堆積範囲

表-1 流木溜りの純容積率調査結果

No	①現地調査実容積 (m ³)	②流木溜り見掛け容積 (m ³)	容積率
1	13.8	48.2	0.287
2	9.9	75.6	0.131
3	1.6	9.9	0.166
4	29.1	241.2	0.121
5	15.7	160.6	0.098
6	19.4	146.0	0.133
7	23.2	295.1	0.079
平均	16.1	139.5	0.145

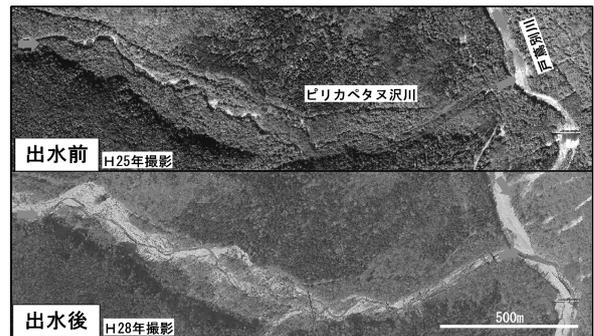


図-6 谷底平野における河畔林の流出状況

道堆積流木流出量は、豪雨前の平成 23 年に実施された現地調査で河道に堆積していると推定された流木量約 9,000 m³ の全量が再流木化したと仮定した⁸⁾。D:流木の再埋没は、B とは逆に豪雨による河道堆積土砂量の 0.6 %に相当する流木が、河道に土砂が堆積する過程で河床堆積物中などに再埋没したものと考えた。溪岸・河床侵食土砂量や河道堆積土砂量については、既往資料⁷⁾により示されている方法で豪雨前後の LP 標高差分か



図-7 札内川における土石流区間の溪岸侵食状況



図-8 掃流区間における溪岸侵食（戸蔭別川）



図-9 流木溜り（扇状地区区間）



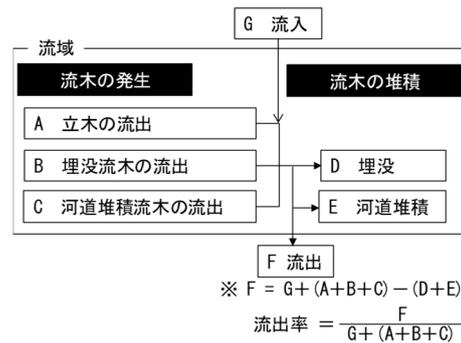
図-10 流木の埋没状況

ら求めた値を採用した。E:流木の河道堆積量は豪雨後の空中写真判読により抽出した流木溜りの範囲について、LP 標高データから見掛けの容積を求め、それに純容積率を乗じて求めた。純容積率は、7 箇所の流木溜りを対象に行った全数調査の平均値 0.145 を採用した（表-1）。F:流出は、G 及び A、B、C の合計から堆積 D、E を差し引いて算出する。G:流入は、当該単位流域への上流域からの流入流木量を表す。

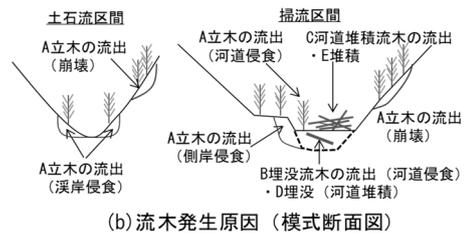
上記の方法に基づいて発生流木量、流木堆積量を流域区分毎に集計し、流出流木量を発生・堆積流木量の差として算出した。また、単位流域からの流出流木量を、その単位流域への流入流木量と単位流域内の発生流木量の合計で除したものととして流木流出率を算出した。

4. 流木量の推定結果

前述の方法から、戸蔭別川流域全体で約 8.6 万 m³ の流木が生産され、約 2.8 万 m³ が流域内の河道等に堆積し、約 5.8 万 m³ が補助基準点 T-1 より下流に流出したと推定された（図-12）。流出土砂量と流出流木量の関係を図-13 に示す。流出流木量と流出土砂量の関係に着目すると、ピリカペタヌ沢川・オピリネツ川を除く流域では両者



(a) 流木発生・堆積メカニズム



(b) 流木発生原因（模式断面図）

図-11 流木発生・堆積・流出メカニズム

表-2 流木量の推定方法

発生・堆積原因	H28豪雨による流木量の推定方法
A:立木の流出	①空中写真（H25とH28の比較）により流出範囲を抽出し面積測定 ②面積×立木密度（現地調査+林野庁資料を参考）で流出量を計算
B:埋没流木の流出	①河道生産土砂量（侵食量）の0.6%に相当する流木が流出するとして流出量を計算。※0.6%は砂防堰堤除石工事実績
C:河道堆積流木の流出	①災害前H22年度現地調査による推定値（9千m ³ ）がH28豪雨により再流木化したと仮定
D:流木の埋没（堆積）	①河道堆積土砂量（堆積量）の0.6%に相当する流木が埋没するとして堆積量を計算
E:流木の河道堆積	①H28空中写真とLPにより流木堆積範囲を抽出し面積と堆積高さを把握 ②面積×高さ×容積率（0.145—現地調査結果）で堆積量を計算
F:流出流木	上流からの流入流木量（G）と発生流木量（A,B,C）から堆積流木量（D,E）を差し引く。
G:流入流木	上流の流域から対象流域に流入する流木量（=上流の流域の流出量）

は比例関係で相関性が高く、図-13 に示すように流出土砂量の1.6~1.7%に相当する流木が流出している。流木量は流出土砂量に比例することが既往文献¹⁰⁾等でも示されており、戸蔭別川も同様の関係が認められる。

ピリカペタヌ沢川やオピリネツ川は流木流出率が高い。両支流は土砂生産が活発であるが谷底平野であるために土砂が堆積しやすく、流出土砂量が他の支流に比べて少ない一方で、流域内の密に生育する河畔林が多量に流出し、流出土砂量に対する流出流木量が他の支流と比べて多いと考えられる。

単元流域毎の流木流出率は土石流区間を伴う山地溪流では0.90~1.00の高い値を示すが、ピリカペタヌ沢川や本川河道の下流区間のように掃流区間となる谷底平野や扇状地区間では0.69~0.17と大きくばらつくことがわかった⁵⁾。

5. 既往災害実績との比較

これまでの災害事例¹⁰⁾¹¹⁾では、発生流木量 V_g と生産土砂量 V_y の関係については、図-14 に示すように主として生産土砂量 10 万 m^3 以下では概ね $V_g = 0.02 V_y$ が上限となることが示されている。戸蔭別川における発生流木量をプロットすると、 10 万 m^3 以下のみではなく 10 万 m^3 以上のピリカペタヌ沢川やオピリネツ川でも同様な関係が成立する。

発生要因別の生産土砂量と発生流木量の関係に着目すると、戸蔭別川流域全体の発生流木量は溪岸・側岸・河

道侵食を要因とする場合では生産土砂量の1.7%であるのに対し、崩壊を要因とするものは生産土砂量に対して1.0%であった。即ち、溪岸・側岸・河道侵食の場合、斜面崩壊に比べ同じ侵食土砂量でも約2倍の量の流木が発生することを意味している。本事例は検討例が少ない 5 km^2 以上の広域的な流域の事例であり、側岸侵食により河畔林が流木化するポテンシャルが高いことから、北海道に多い扇状地等の河川においては土石流溪流だけではなく本川下流の掃流区間においても流木対策が重要であることを示したものと考える。

6. 計画流木量の設定

流木捕捉工の配置計画立案にあたり、流木の流出実績より計画流木量を設定した。本川及び流木が多量に発生・流出した支川について、図-13 に示すように流出土砂量と流出流木量の相関が良好であったことから、計画流木量はこの関係を用いて設定することとした。単元流域は計画流出土砂量に1.6%を乗じ、残流域は1.7%を乗じた。ただしピリカペタヌ沢川及びオピリネツ川は異なる関係を示したため、それぞれの関係を個別に設定した。

7. 流木捕捉工配置計画の検討

算出された流木収支に基づき、砂防基準点からの流出流木量を0とし流木整備率100%となるよう流木捕捉工の配置計画を立案した。流木捕捉工は発生抑制よりも流

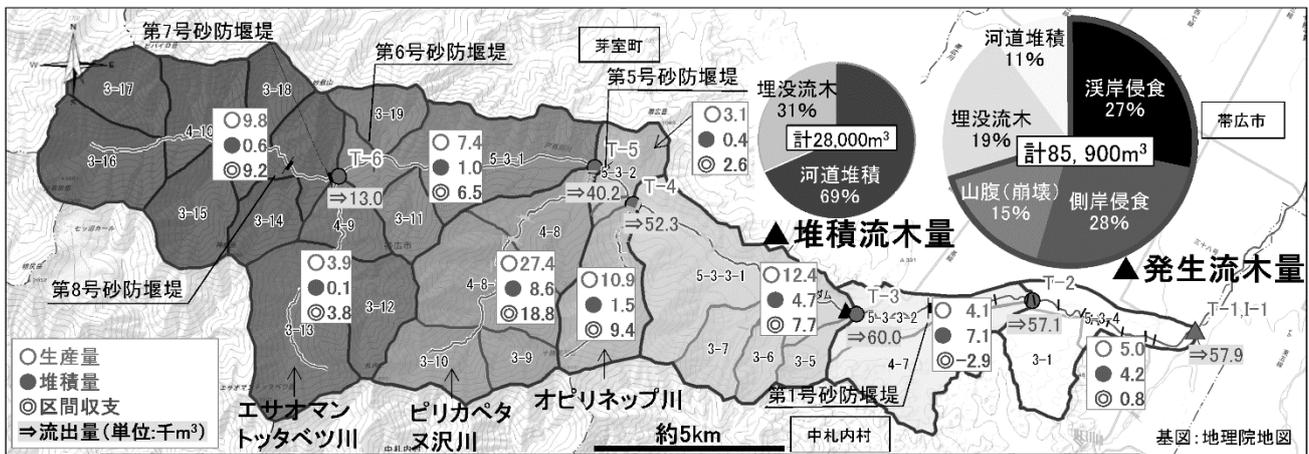


図-12 流木収支図

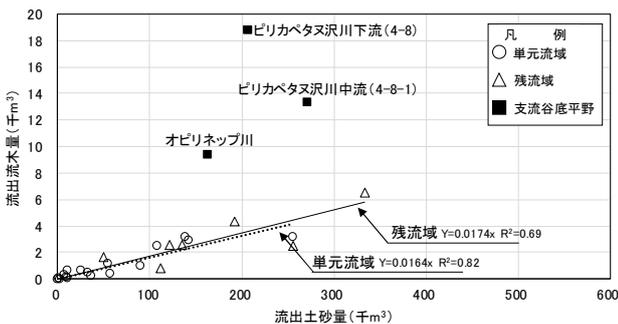


図-13 流出土砂量と流出流木量の関係

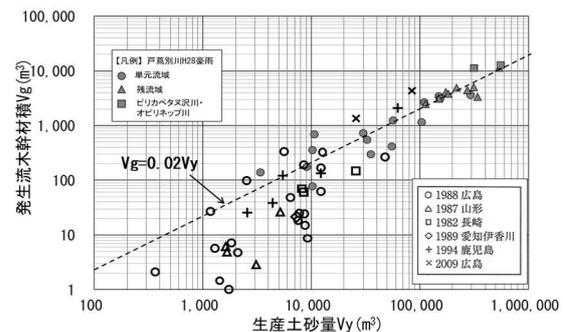


図-14 既往災害との比較 (生産土砂量と発生流木量) ^{11)に加筆}

出流木の捕捉が主な機能であるため、流木発生形態よりも補助基準点ごとの流出流木量に基づき検討した。また、流出流木量は非常に多量であり、副堤に設置するタイプの流木捕捉工では計画流出流木量に対して流木捕捉量が不足することが想定されたため、鋼製透過型の単独タイプを原則とした。戸蔭別川本川の中流～下流区間は概ね掃流区間であり、施設効果量は閉塞した流木捕捉工が形成する湛水面積に平均流木径を乗じて算出した。計画地点は、以下の事項を基本として検討した。

- ・流木捕捉効果が高い地点（湛水面積を広くとることが可能となる、河道幅が広く、河床勾配が緩い地点）
 - ・既設及び計画砂防施設の堆砂等の影響を受けない地点
- 戸蔭別川は河道幅が 100m を超えるほど広い箇所もあり、河床勾配も 1/50～1/200 と緩勾配であることから湛水面積を広く取ることが可能であるため、**図-15** に示すように流域内に 3 箇所（戸蔭別川第 5 号砂防堰堤、第 4 号床固工、第 6 号床固工周辺）の流木捕捉工を設置する配置とした。それぞれの地点の具体的な位置は予備設計において主に流木捕捉量が最大となる地点を比較検討し設定した。なお、平成 28 年出水直後には第 2 号砂防堰堤の副堤に緊急的に流木捕捉工が設置されており、これも流木対策計画に含めるものとした。



図-15 流木捕捉工の施設配置図

8. まとめと今後の課題

戸蔭別川流域において災害前後の空中写真、LP データ、立木調査、UAV 等による現地調査から、平成 28 年 8 月豪雨による流域内の流木収支を定量的に検討した。検討結果を 1) ～4) に整理する。

- 1) LP 測量データの活用と現地調査により、総合的に流木収支を検討した事例を示すことが出来た。
- 2) 流木流出率は上流山地溪流では 0.90～1.00 であり一般的な流木流出率 0.9 程度とも整合する。谷底平野や扇状地の掃流区間では 0.69～0.17 程度と低くばらついた値を示した。
- 3) 流出流木量と流出土砂量には発生形態・発生量とも

に高い相関性があり、戸蔭別川における今後の流木対策に対する有用な知見となり、一般論としての流出土砂量と流出流木量の関係性をも裏付けるものと考えられる。

4) 既往災害実績と同様に、発生流木量は生産土砂量の約 2 %程度であることが示された。溪岸・側岸侵食を要因とする場合が斜面での崩壊によるものの約 2 倍の比率で、河畔林の流木生産ポテンシャルの高さを示した。

今後、戸蔭別川では 5 号砂防堰堤下流流木捕捉工を建設予定であり、これにより流木整備率が 100%となる。今後の流木対策の課題として、流木捕捉効果の状況の把握を含め、流木捕捉工が大規模出水時に十分機能を発揮するための中小規模出水時の土砂・流木の移動の定期的なモニタリングや、流木捕捉工に捕捉された流木の除去を実施する際の効率的な除去方法の検討が重要である。

謝辞：本研究は十勝川砂防技術検討会における助言を受けて進められたものである。また、北海道森林管理局十勝西部森林管理署からは材積に関するデータの提供や入林許可などに協力を頂いた。関係各位に御礼申し上げる。

参考文献

- 1)水原：流木災害の実態と山地河川における流木、京都大学農学部演習林報告、第51号、p.175-183、1979
- 2)石川：流木災害と森林、森林科学、No.47、p.28-36、2006
- 3)高垣・村上：駿河湾沿岸域における漂着物の特性について、河川環境総合研究所報告、第9号、p.95-103、2004
- 4)菅野ほか：十勝川河口流木の対応について、第61回（平成29年度）北海道開発技術研究発表会、2018
- 5)工藤ほか：平成28年8月豪雨による北海道戸蔭別川流域の流木実態と流木量の推定、砂防学会誌、第73巻第6号、2021
- 6)北海道開発局・北海道：第1回十勝川流域砂防技術検討会配布資料、資料2、p.6-10、2017
- 7)北海道開発局・北海道：第2回十勝川流域砂防技術検討会配布資料、資料2、p.9-19、2017
- 8)永野ほか：平成28年8月豪雨に伴う戸蔭別川流域の流木に関する定量的評価、2019年度砂防学会研究発表会概要集、p.51-52、2019
- 9)三上ほか：戸蔭別川流域における平成28年8月豪雨時の土砂動態について、第63回（2019年度）北海道開発技術研究発表会、p.493-497、2020
- 10)小松・山本：流木と災害—発生から処理まで—、技報堂出版株式会社、p.37、2009
- 11)建設省砂防部砂防課：流木対策指針（案）計画編、p.9、2000
- 12)角・谷崎：ICOLD第22回大会提出課題論文(その3)Q.87-R20 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、p.122、2007