

空隙率を考慮した堆積流木群の計測

国土交通省 国土技術政策総合研究所 土砂災害研究部 赤澤史顕*, 鈴木啓介
八千代エンジニアリング株式会社 宮田直樹, 西尾陽介, 宮本冬馬, 辻本和紀, ○由永尚暉
※現所属 国土交通省砂防部

1. はじめに

令和6年9月能登半島豪雨では、土砂・洪水氾濫に伴い甚大な浸水および流木被害が発生した。このような土砂・洪水氾濫時に流出する流木を計画で取り扱う上で、堆積流木量の算定にあたっては堆積流木群の実容積を定量化することが必要となる。しかし、土砂・洪水氾濫によって下流域で流出・堆積した流木は復旧活動に伴い早期に撤去されることが多く、堆積流木群の実態を明らかにした研究事例は少ない。

筆者らは災害の流木実態の早期把握のための調査手法提案に向けフォトグラメトリ（以下 SfM）を活用した計測手法を含む複数の調査手法を堆積流木群に適用してきた。本研究では、SfM を含む複数手法を用いて、11箇所の堆積流木群の容積率を算出し、各手法の精度・適用条件を比較検討した。

2. 堆積流木群の調査箇所及び計測方法

土砂・洪水氾濫時に堆積した11箇所の堆積流木群（塚田川、鈴屋川、牛尾川、七見川、寺地川）を対象として、SfM を活用した地上撮影及び UAV 撮影による堆積流木群の容積率計測を実施した（図-1）。



図-1 調査対象とした流木堆積群の位置

SfM を用いた計測手法の精度比較を行うため、比較検証用のデータとして「全木調査（堆積流木群を解体した直接計測、または3Dモデル上で判読可能な流木を計測）」および「ポール・メジャーによる計測（設定したコードラート内での直接計測）」を実施し、流木の長さや径を計測した。なお、堆積流木群を解体し1本毎の流木長・径を計測した結果は表-1の青色で示す。

2.1 地上撮影と UAV 撮影による計測

現場へのアクセスや安全性を考慮し、地上からスマートフォン（RTK 測位、LiDAR 搭載）を用いた「SfM（地上撮影）および LiDAR による計測」と、RTK ドローンを用いた「SfM（UAV 撮影）による計測」を実施した。UAV 撮影では、堆積流木群の細部まで3Dモデリングが可能だが計測に時間を要する

POI（定点旋回）撮影と、細部の再現性に劣るが短時間で計測が可能な自動航行撮影の2手法を比較した。取得した画像および点群データは、SfM 処理ソフトウェア（PIX4Dmatic）に取り込み、堆積流木群の高密度点群データから3Dメッシュモデルを作成した（図-2）。データ取得にはGCPによる位置合わせを行う必要がなく、数cm単位の位置精度をもつRTK測位を用いて作業の効率化を図った。



図-2 塚田川堆積流木群②の高密度点群データ

2.2 投影面判読による計測

堆積流木群の容積率を算出するにあたり、以下に示す佐藤ら¹⁾の流木材積式を参考とした。

$$\text{流木材積} = \text{調査区面積} \times \text{水平方向の歩留まり} \times \text{流木群の高さ} \times \text{垂直方向の歩留まり}$$

※歩留まり：単位面積に対する流木部分の投影面積の割合

通常の写真では突出した流木が同一平面上に投影され、奥行きを考慮できない。そこで、SfM から作成した堆積流木3次元データを活用し、画像生成に用いる点群の範囲を指定することで、突出した流木を除外した。この処理を経て生成した画像から流木部分の投影面積を判読し、単位面積に対する割合（歩留まり）を算出した（図-3）。また、SfM の特性上、画像のない箇所は点群が取得できないため、地上撮影では側面画像、UAV 撮影では上面画像を使用した。



図-3 塚田川堆積流木群①の容積率計測結果（左：データ使用箇所、右：生成した側面画像）

2.3 投影面判読を行う流木径

発生流木量の調査（立木調査）では、基本的に幹材積として概ね径10cm以上の立木を調査対象としている。計画上取り扱う流木量もこれに準じていること、および発生流木量と堆積流木量で対象とする径の整合を図るため、判読対象として「流木径10cm以上」を採用した。

3. 結果と考察

流木径 10cm 以上を対象とした各手法の容積率の計測結果を表-1 に示す。SfM を活用した調査手法による容積率の平均値は 0.2~0.3 程度となり、全木調査と概ね近い値を示した。一方で、地点ごとに比較すると一部で乖離が生じており、計測箇所選定や計測手法の適用条件において改善の余地がある。

表-1 調査手法ごとの容積率計測結果

地点名		全木調査 実計測から 算出		容積率		上面 SfM (UAV自動航行撮影)
				側面 SfM+LiDAR (地上撮影)	上面 SfM (UAV撮影)	
河川名	堆積流木群					
牛尾川	⑤	—	0.26	0.28	0.41	—
	⑥	—	0.12	0.29	0.29	0.29
鈴屋川	⑦	—	0.20	0.20	0.35	—
	⑧	0.08	0.12	0.16	0.10	—
塚田川	①	—	0.11	0.27	0.23	—
	②	0.25	0.18	0.06	0.17	0.07
	③	—	0.25	0.23	0.18	—
	④	—	0.18	0.21	0.23	—
七見川	②	0.19	0.09	0.34	0.29	0.29
	④	0.28	0.22	0.31	0.32	—
寺地川	①	—	0.24	0.30	0.35	0.23
	全体平均	0.20	0.18	0.24	0.27	0.22

3.1 堆積流木群における計測箇所選定

塚田川堆積流木群②では、全木調査と SfM を活用した調査による容積率に乖離が生じた (表-1)。計測箇所の範囲設定は、技術者が目視で堆積流木群の平均的な状況を示す箇所を選定しているが、複数箇所で容積率を求めた結果、堆積状況に差異が確認された (図-4)。流木の堆積は堆積箇所の河床勾配や堆積要因によって堆積形状が変化する傾向がみられることから、容積率の計測にあたっては、堆積状況に応じて複数箇所を計測する等、平均的な値の取得に留意することが望ましい。

地点名	計測箇所	容積率
塚田川	②	側面① 0.06
		側面② 0.22
		側面③ 0.15
		平均 0.14



図-4 計測箇所による容積率の違い

3.2 UAV 自動航行撮影における適用条件

UAV 自動航行撮影と他手法の容積率を比較すると、概ね同様の結果が得られているが、塚田川堆積流木群②においては乖離が生じた (表-1)。これは、同箇所が他箇所と比較して規模が小さく (高さ 1m、みかけの容積 10m³程度)、UAV の自動航行撮影では詳細な形状の 3D モデル化が困難であったためと考えられる (表-2)。したがって、SfM の活用には堆積流木群の規模に応じた手法選択が必要になると考えられる。

表-2 堆積流木群の高さ及びみかけの容積一覧表

地点名	河川名	堆積流木群	流木高さ (m)	みかけの容積 (m³)
牛尾川	⑤	—	5.2	1534.7
			1.2	223.4
鈴屋川	⑦	—	3.0	183.1
			2.0	195.2
塚田川	②	—	3.5	567.2
			1.0	10.7
			2.7	106.0
			2.9	240.4
七見川	④	—	1.5	229.6
			2.8	186.6
寺地川	①	—	6.6	1387.6

3.3 堆積流木群の堆積形状による調査手法の選定

鈴屋川堆積流木群⑥および七見川堆積流木群②は高さ 1.2~1.5m と、他の堆積流木群に比べ扁平な形状を呈している (表-2、図-5)。このような堆積流木群を側面画像から計測すると、判読範囲が狭くなり、直径 10cm 以上の流木の割合が相対的に増すため、容積率が過大に評価される可能性がある (図-6)。したがって、扁平な堆積流木群においては、UAV を活用した上面からの計測が、流木堆積群の容積率の評価には適していると考えられる。



図-5 七見川堆積流木群②の上面画像

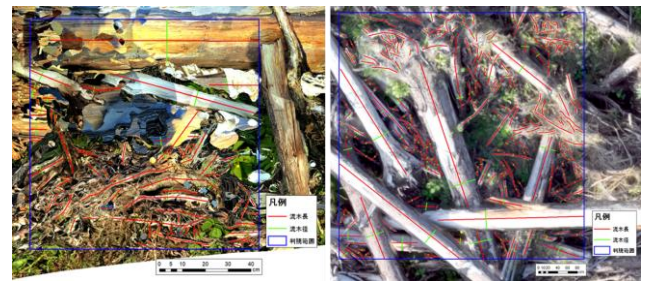


図-6 七見川堆積流木群②の容積率計測結果 (左:側面判読面積 1m², 右:上面判読面積 25m²)

4. おわりに

本研究では、堆積流木群の容積率について、全木調査による実計測、ポール計測、SfM を活用した 3 つの調査手法を 1 つの堆積流木群に適用し、比較検討を行った。その結果、SfM を活用し計測した容積率の平均値は、全木調査の結果と近い値を示した。なお、この値は 1 本毎の流木長・径を計測し容積率を求めた既往文献^{2),3)}の結果 (0.15~0.30) とも近似している。このことから、SfM を活用した調査手法は一定の精度を有すると考えられる。一方で、小規模な堆積流木群への UAV 自動航行撮影の適用限界や流木堆積形状の影響など、各調査手法の適用条件を整理する必要があるという課題も残る。流木の容積率に関する実計測データや計測事例は多くないため、本研究が今後のデータの蓄積に向けた一助になれば幸いである。

参考文献；1)佐藤創，長坂有，浅井達弘，寺澤和彦，報文 2003 年台風 10 号災害における厚別川流域の流木堆積量と組成，砂防学会誌，2006，Vol58，No.6，p11-17
2) 岡崎正宜・伊藤博光・神原孝義・大谷健一：土石流発生溪流における流木の流出について，平成 20 年度砂防学会研究発表会概要集，p.22-23，2008
3) 工藤ら：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，Vol.73 No.6，p.3-11，2021