

流木流出モデルを用いた流木災害に対するリスク評価

東北大学大学院工学研究科	学生会員	○中村 雅志
東北大学大学院工学研究科	学生会員	阿部 祐太
東北大学工学部	学生会員	井下 雄揮
東北大学大学院環境科学研究科	学生会員	Sartsin Phakdimek
東北大学大学院工学研究科	正会員	小森 大輔

1. 背景

近年、気候変動による豪雨の頻発化および森林飽和の影響から、流木流出を伴う災害は今後増加することが危惧される。以上より、流木の流出特性を理解すること、流木流出を伴う災害への対策の重要性が高まっている。

流木の流出特性を考慮した既往研究として、Komori *et al.*²⁾は、流木流出を2つの成分によって表現した貯留関数モデルを構築した。そして、北上川流域に位置するダム流域において、高い再現性で流出流木量データを再現した。そこで本研究では、このモデルを日本全国のダム流域において適用し、流木の流出特性の評価を行った。加えて、高い再現性を得たダム流域において、確率降水量を用いた流木災害のリスク評価も行った。

2. 対象ダム地域

対象としたダム流域と、その解析対象期間を表-1に示す。なお、流出流木量の観測データは国土交通省より提供いただき、解析対象期間は観測期間に合わせた。

3. 手法

Komori *et al.*²⁾に倣い以下のように流出流木量の観測値データの再現を行った。

3.1. 発生流木量の推計

Phakdimek *et al.*³⁾に倣い、50m 解像度で斜面崩壊発生箇所を推定を行った。なお、降水量データはレーダー AMeDAS 解析雨量データ、土層厚の推計には Z-model を用いた。そして、斜面崩壊箇所ごとに、森林密度⁴⁾と流木1本当たりの平均体積⁵⁾0.567m³を乗じ、流域内で積算することにより各年の発生流木量の推計を行った。

3.2. 貯留関数モデル

Komori *et al.*²⁾は、2段のタンクを構成することによ

表-1 対象地域一覧

Dam Watershed	River-System	Watershed Area (km ²)	Study Period (year)
Gosyo	Kitakami-River	635	1996-2017
Yuda	Kitakami-River	583	1996-2017
Ishibuchi	Kitakami-River	154	1996-2012
Tase	Kitakami-River	740	1996-2017
Hanayama	Kitakami-River	127	1996-2016
Sagae	Mogami-River	231	1996-2017
Koshibu	Tenryo-River	288	1996-2017
Misokawa	Kiso-River	55	1996-2016
Hiyoshi	Yodo-River	290	1998-2017
Nomura	Hiji-River	168	1996-2017
Nagase	Mononobe-River	295	2001-2016
Terauchi	Chikugo-River	51	1996-2017
Yabakei	Yamakuni-River	89	1996-2017
Shimouke	Chikugo-River	185	1996-2017
Matsubara	Chikugo-River	491	1996-2017
Midorikawa	Midori-River	359	1996-2015

て2つの流出特性を表現した。1段目のタンクからの流木流出は以下の式によって表現される。

$$q_1(m) = S_1(m) - Z \quad (S_1(m) \geq Z) \quad (1)$$

$$q_1(m) = 0 \quad (S_1(m) < Z) \quad (2)$$

$$P_{inf}(m) = b \cdot S_1(m) \quad (3)$$

$$\frac{dS_1}{dt} = \frac{P(m) - P_{inf}(m)}{dt} \quad (4)$$

ここで、 q_1 : 1段目タンクからの流出流木量 (m³)、 S_1 : 1段目タンクの貯留流木量 (m³)、 Z : 1段目タンクの容量 (m³)、 P_{inf} : 1段目から2段目のタンクへの輸送流木量 (m³)、 b : 係数 (-)、 P : 発生流木量 (m³)、 m : 年次 (-) である。

続いて、2段目タンクにおける流木流出は以下の式によって表される。

$$\frac{dS_2}{dt} = \frac{P_{inf}(m) - q_2(m)}{dt} \quad (5)$$

$$S_2(m) = k \cdot q_2^p \quad (6)$$

ここで、 q_2 : 2段目タンクからの流出流木量 (m³)、 S_2 : 2段目タンクの貯留流木量 (m³)、 k, p : 係数 (-) である。

以上の式を用いて、流出流木量の観測データの再現を行った。なお、再現性の評価には Nash-Sutcliffe 係数

表-2 貯留関数モデルの結果

Watershed	Parameter				NS
	b (-)	Z (m ³)	k (-)	p (-)	
Gosyo	2.80×10^{-2}	84,000	1.000×10^{-4}	3.33	0.68
Yuda	4.70×10^{-2}	217,000	4.000×10^{-4}	3.33	0.71
Ishibuchi	1.30×10^{-2}	64,000	2.695×10^{-3}	2.50	0.82
Tase	4.00×10^{-3}	8,500	6.800×10^{-7}	2.86	0.14
Hanayama	2.38×10^{-2}	90,000	4.120×10^{-4}	2.86	0.26
Sagae	2.00×10^{-4}	43,500	3.470×10^{-3}	2.50	0.73
Koshibu	9.00×10^{-1}	41,000	7.100×10^{-4}	3.33	-0.01
Misokawa	7.20×10^{-2}	37,500	6.200×10^{-2}	3.33	0.97
Hiyoshi	2.18×10^{-2}	225,000	9.000×10^{-1}	3.33	0.23
Nomura	1.00×10^{-3}	69,000	4.000×10^{-3}	2.86	0.13
Nagase	9.50×10^{-1}	650,000	3.400×10^{-2}	3.33	0.00
Terauchi	1.00×10^{-3}	39,000	1.000×10^{-2}	2.50	0.99
Yabakei	4.99×10^{-2}	131,000	3.500×10^{-4}	3.33	0.65
Shimouke	7.97×10^{-2}	246,000	1,000	3.33	-0.61
Matsubara	1.00	50,000	1.183×10^{-3}	2.86	0.01
Midorikawa	4.45×10^{-1}	241,000	1.000×10^{-3}	3.33	0.65

（以下、NS 係数）を採用し、NS 係数が最も高くなるパラメータ b, Z, k, p の組み合わせの同定を行った。

3.3. 流木災害リスク評価

高い再現性を得たダム流域を対象に、確率降水量を用いた発生流木量を推計し、貯留関数モデルの入力値とすることにより流木災害のリスク評価を行った。なお、確率降水量の算出において、降水量データは 1989-2020 年のレーダー AMeDAS 解析雨量データを用い、極値分布は GeV 分布、母数推定法は PMW 法を採用した。

また、 q_1 は 1 段目タンクの貯留流木量によって変化するため、リスク評価において新たに貯留流木率 r を定義した。 r を 0 から 1 まで変化させ、次年度にどの程度の流木が流出する可能性があるのかを評価した。

4. 結果・考察

貯留関数モデルを用いた結果を表-2 に示す。御所ダム、湯田ダム、石淵ダム、寒河江ダム、味噌川ダム、寺内ダム、耶馬溪ダム、緑川ダムの 8 つのダム流域において高い再現性を得た。これより、この 8 つのダム流域は、2 つの流出形態を持った流出特性を持つことが判明した。一方で、他の 8 つのダム流域においては高い再現性を得ることが出来なかった。その要因としては、河岸浸食などの斜面崩壊以外の流木発生要因の影響、加えて、本研究では考慮できていない同一年における複数の降水イベントが流木流出に影響をしていることが考えられる。

続いて、図-1 に流木災害リスク評価の結果を示す。なお、エラーバーと線グラフはそれぞれ $r = 0$ および $r = 1$ における流出流木量と、 r を各対象ダム流域における対象期間内の 1 段目タンクの平均貯留流木率としたときの流出流木量を表す。この結果より、平均貯留流木率に

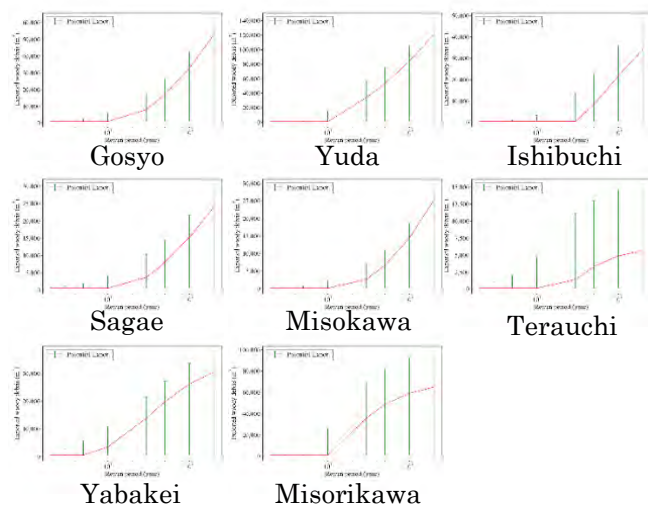


図-1 確率降水量に対する流木災害のリスク評価

おける流出流木量に着目すると、概ね再現期間 10-50 年程度の確率降水量において大規模流木流出が発生する可能性があることが示唆された。また、全てのダム流域において再現期間が大きくなるほど、想定される流出流木量の幅が大きくなることから、貯留流木率が大規模流木流出の発生に大きく影響することが推察された。

謝辞：本研究は、国土交通省水管理・国土保全局河川河川砂防技術研究開発、国際共同研究加速基金（代表：小森大輔：19KK0362）の支援により実施された。ここに謝意を表す。

参考文献

- 1) 南哲行, 土井康弘, 小山内信智, 竹崎伸司, 中山康之, 野中克也, 増子四郎: 1998 年 8 月栃木県余笹川災害で発生した流木の実態, 砂防学会誌, Vol.53, No.4, pp.44-51, 2000.
- 2) Komori, D, Sukegawa, Y, Chaithong, T and Kazama, S : Modeling of large wood export at a watershed scale, Earth Surface Processes and Landforms, 47(2), 686-696, 2022.
- 3) Sartsin Phakdimek, Masashi Nakamura, Yuta Abe, Daisuke Komori: The Sensitivity of Spatial Variation Soil Thickness and Rainfall on Shallow Landslide Triggering Patterns., 土木学会論文集 G (環境), Vol.78, No.5, pp. I_117-I_124, 2022.8.31.
- 4) Crowther, T., Glick, H., Covey, K. et al. : Mapping tree density at a global scale, Nature, vol.525, pp.201-205, 2015.
- 5) 横山光, 小森大輔, Chaithong, T: 平成 29 年九州北部豪雨における寺内ダム流域の流木流出メカニズムの解明, 水工学論文集, Vol.64, pp.I_169-174, 2019.