

流木対策における砂防構造物の提案と捕捉効果の検証

防衛大学校 正会員 ○ 堀口俊行

Univ. Grenoble Alps IRSTEA 非会員 Guillaume Piton, Muhammad Badar Munir

ARTELIA 非会員 Vincent Mano

1 緒言

森林における管理不足や近年における異常気象が相まって、流木における災害が増加傾向にある。さらに、防災対策の一つに不透過型のコンクリート砂防堰堤が建設されている。しかし、多くの場合で浮遊している流木が越流する可能性がある。一方で、透過部を有するスリット堰堤のような砂防構造物は、流木における捕捉効果はある程度望めるが、流木対策には不十分な点が多くあると言われている。そのため、嶋らりの研究のように新しい構造物（鋼製の透過型堰堤）を不透過型に付与するような検討が進められている。これは、既存の構造物を維持し、流木の捕捉効果を付与する狙いがある。

このような流木の災害は、世界的にも同様な傾向であり、山間部の起伏があまり大きくないフランスの Villard-Bonnot 地区においても 2005 年に、流木の災害が発生している。その災害では、供給される土砂は緩やかに流れ、浮遊する流木が先頭部に集中し、広範囲にわたり流れていたことが報告されている²⁾。そのため、緩やかに流れる土砂の堆積と、先頭部の流木を捕捉できる二つの機能を有した対策が急務である。従来のフランスの設計においては、小砂礫を流せるようにスリットタイプの堰堤が検討されており、土石流における巨礫の捕捉に対応している。しかし、石礫型の土石流に着目していたため先頭部に集まる流木においては、工夫が必要であると考えられる。このように、従来型の設計においては十分に流木の対応がなされていない。そのため、流木も捕捉できる新たな砂防構造物の開発が求められている。さらに、除石のメンテナンスの観点からも、通常時は小砂礫を流すことができるようなスリットを有する砂防堰堤を目標に検討する必要がある。

そこで本研究は、基礎的段階として捕捉効果に着目し

て、2つのタイプの土石流ピーク流量におけるモデル実験において流木の流出を確認し、その対策として新しい構造形式を取り入れた提案型の砂防堰堤における捕捉性能を検討するものである。さらに、流木の捕捉効果における要因分析について個別要素法を用いて検証を試みる。

2 実験の概要

図-1に示すように、縦横それぞれ 3.0 m 程度の長さのため池のモデルを作成し流出口に砂防堰堤を設置している。それぞれ、上面からと堰堤の流出口にはビデオカメラをセットして捕捉効果を検証している。これは、Villard-Bonnot 地区で発生した土砂を捕捉するために想定されたため池の 1/40 スケールにしてモデル化している。また、実験装置の概要として、図-1(a)は土砂を流していない時の初期状態である。図-1(b)は、最終的堆積した状況を示している。図-2に、流木モデルを示しており、細い流木（Thin debris）と太い流木（Thick debris）の2種類を混合している。それぞれの比重は、0.45~0.50 程度である（表-1）。また、実験ケースは、表-2に示している。土石流ピーク流量における違いの実験と、提案構造物における捕捉景況の確認のための実験の計 3 種類行っている。なお、文献 3)を用いて 2 つの土石流ピーク流量の違いにおける流木の流出状況を検討している。それぞれ、超過確率より発生確率 30 年のケースを Q30、100 年のケースを Q100 として呼称する。土砂供給量は、いずれも 20000 m³ を想定している。使用する土砂は、粒径 20~1.0 mm とし、全土砂量 90~140 m³ 使用している工法の循環式のポンプから土砂と水を混ぜた状態で流している。それぞれ、経過時間がそれぞれ異なることから最終的な体積している土砂量は、ピーク流量によって異なる。



図-1 実験の概要図



図-2 流木モデル

表-1 流木の特性

Thin debris			Thick debris		
径	長さ	数	径	長さ	数
1 mm	0.04 m	764	5 mm	40mm	122

表-2 実験ケースおよび解析の検証ケース

ケース	実規模			実験スケール			解析検討例
	ピーク流量	供給土砂量	経過時間	ピーク流量	供給土砂量	経過時間	
Q30(従来型)	22 m ³ /s	20000 m ³	30 時間	2.1 m ³ /s	140 m ³	3.0 時間	○
Q100(従来型)	35 m ³ /s	20000 m ³	18 時間	3.5 m ³ /s	90 m ³	1.8 時間	
Q100(改良型)	35 m ³ /s	20000 m ³	18 時間	3.5 m ³ /s	90 m ³	1.8 時間	

キーワード 流木、ため池、砂防堰堤、個別要素法、捕捉効果

連絡先 〒239-8686 神奈川県横須賀市走水 1-10-20 防衛大学校 建設環境工学科 TEL : 046-841-3810 FAX : 046-844-5913



(a) 従来型砂防堰堤



(a) 一時的な捕捉



図-5 流木の捕捉景況(改良型)



(b) 改良型砂防堰堤



(b) 流木の越流

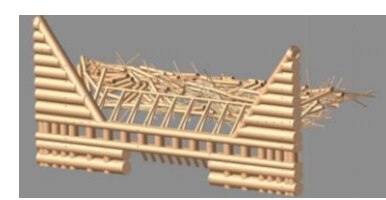
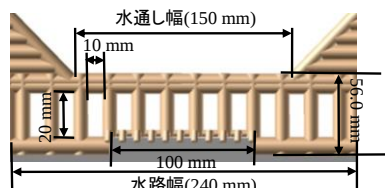


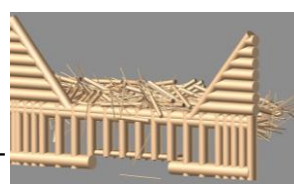
図-8 捕捉景況の解析例(改良型)

図-3 堰堤モデル

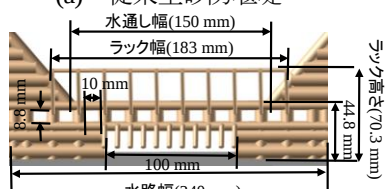
図-4 流木の流出景況(従来型)



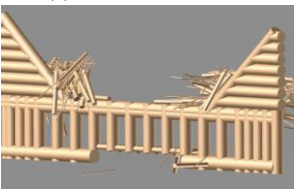
(a) 従来型砂防堰堤



(a) 一時的な捕捉



(b) 改良型砂防堰堤



(b) 流木の越流

図-6 解析モデル

図-7 捕捉景況における解析例(従来型)

3 実験結果

Q30(従来型)における実験では、越流を確認することがなく、流木は堰堤の水通し部の両サイドの天端辺りたで流木が堆積した。流木の運動形態は、一旦堰堤の中腹あたりに流木が溜まり、スリット部分に目詰まりを起こさせ、徐々に水深を上げることで、流木が堰堤の天場付近まで到達している。このケースの平均流速は、約0.10 m/sであった。一方、Q100(従来型)における実験では、図-4に示すように一旦流木がQ30におけるケースと同様に捕捉されるが、急激に水深が増すことで一気に流木が流れることが判った。時間にして、図-4(a), (b)に至るのは10s程度である。このケースの平均流速は、約0.17 m/sであった。この部分は、越流における要因分析のために個別要素法解析で検証する。

Q100(提案型)における実験では、図-5に示しているようにラック部分に流木が絡みつくと越流を防ぎ、流木が確実に捕捉されていることが判った。これは、当初ラックの下端部の方から流木が捕捉され、流木が目詰まりすることで、水深が上昇する。同時に、堰堤付近に溜まった流木が浮遊し、ラック全体に絡むことで後続の流木の流出を防いでいる。また、ラック部分を入れると従来型に比べて水通し部分より高い位置に配置していることもその要因と考えられる。

4 解析での検証例

図-6に、それぞれ堰堤モデルを示している。このモデルは、円柱形要素をクランプモデルで作成して、実際の実

験で使用した寸法に合わせて作成している。流木の流下時に、使用する流速は実験を参考にし、流体力の表現は文献4)を用いている。そのため、流下方向にのみ流速が働くため、堰堤の水通し部分に流水が集中する等の処理は実施していない。今回の解析では、Q100(従来型)と(改良型)に焦点を絞って検討するものである。円柱の初期配置は、堰堤後方4 mから、ランダムに配置したものを経過時間で約1分程度解析して、流木の絡まりを再現した。

図-7に、Q100(従来型)の越流における再現解析の結果を示している。一旦、流木が堰堤周辺に捕捉するが、約7 s程度で同じ形状を維持した後、一気に流木が越流することが判った。一方で、図-8に示しているQ100(改良型)は、流木が越流せずにラック部分に絡まり捕捉されることで、流木が動かずに維持していることが確認できた。これにより、水深が上昇してもラックにおける効果で流木が捕捉されることが検証できた。

5 結言

本研究における成果を以下のように示す。

実験において、基礎的段階として2つのタイプの土石流ピーク流量におけるモデル実験において流木の流出状況を確認することで、従来の設計における堰堤ではQ100における土砂災害では流木を越流させ、防災が不十分であることが判った。一方で、提案型における砂防堰堤は捕捉性能を発揮して流木を捕捉することができた。その際、個別要素法解析において流木の絡まりによって捕捉効果を発揮できることを検証することができた。

参考文献

- 1) 嶋丈示, 水山高久: 満砂した不透過型砂防堰堤に流木捕捉機能を付与する方法, 砂防学会年次講演概要集, R-32, 2017.5
- 2) ARTELIA, IRSTEA: Etude de l'Aménagement d'une Plage de Dépôt sur le Torrent de la Combe De Lancey - Site des Anciennes Papeteries de Villard Bonnot - Rapport de Modélisation Physique. Ville de Villard-Bonnot, 2018
- 3) Piton, G., V. Mano, D. Richard, G. Evin, D. Laigle, J. Tacnet, and P. Rielland. 2019. Design of a Debris Retention Basin enabling Sediment Continuity for Small Events: the Combe de Lancey Case Study (France), International Conference on 7th DFHM: Mechanics, Prediction, and Assessment, Proceedings, 2019.6
- 4) 堀口俊行, 香月智: 個別要素法による鋼製透過型砂防堰堤に対する巨礫衝突荷重解析, 砂防学会誌, Vol.70, No.3, pp51-57, 2017.5.