

# 水平梁構造を用いた流木対策工 の捕捉効果実験

## EXPERIMENT ON THE EFFECTIVE USING DRIFTWOOD CATCHMENT OF HORIZONTAL BEAM STRUCTURE

堀口 俊行<sup>1</sup>・小泉 香那子<sup>2</sup>・仲田 清夏<sup>1</sup>・堤 大三<sup>3</sup>

Toshiyuki HORIGUCHI, Kanako KOIZUMI, Kiyoka NAKATA and Daizo TSUTSUMI

<sup>1</sup>防衛大学校建設環境工学科 (〒239-0811 神奈川県横須賀市走水 1 丁目 10 番 20 号)

E-mail: htoshi@nda.ac.jp

<sup>2</sup>防衛大学校理工学研究科前期課程 (〒239-0811 神奈川県横須賀市走水 1 丁目 10 番 20 号)

E-mail: em60020@nda.ac.jp

<sup>3</sup>三重大学大学院生物資源学研究所 (〒514-8507 三重県津市栗真町屋町 1577)

E-mail: tsutsumi-daizo@bio.mie-u.ac.jp

**Key Words:** woody debris, horizontal beam type driftwood catchment, roots model, truck model

### 1. 緒 言

近年の土砂災害において、土砂とともに大量の流木が河川を流下し、被害を拡大している事例が報告されている<sup>1)</sup>。そこで石川は、流木災害の特徴を 6 つに分けている。その中で、流木によって橋梁を閉塞して周辺の民家や施設等に被害を与えることや橋梁閉塞によって土石流等がダムアップし、水圧で橋梁が押し流されることが示されている。このことから、流木に対して上流から下流に至るまでの連続的な対策が必要であると示している<sup>2)</sup>。被災報告を見ると、2017 年九州北部豪雨災害において、朝倉市や日田市の多くの河川での流木発生事例<sup>3)</sup>や 2018 年西日本豪雨災害において広島市や呉市の住宅地を流れる小規模河川を土砂とともに流木が移動し、多くの橋梁を閉塞した事例<sup>4)</sup>などが挙げられる。写真-1 は、令和 2 年 7 月豪雨での橋梁閉塞の事例であり、流木による閉塞からの土砂氾濫が報告されている。

このような状況を鑑みて、国土交通省は流木対策に関する事務連絡を通して、既設の砂防構造物に流木捕捉機能を付与するように進めてきた<sup>5)</sup>。しかし、近年の流木被害状況から、砂防施設が整備できない小河川の橋梁において閉塞が発生する例や、既設の

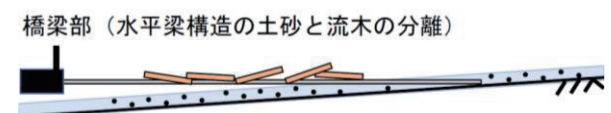


写真-1 令和 2 年 7 月豪雨での橋梁閉塞の事例

透過型砂防堰堤（捕捉機能）



(a) 鋼製堰堤の捕捉機能



(b) 水平梁の対策工の機能

図-1 水平梁構造モデルの流木捕捉の概略

不透過型砂防堰堤で捕捉しきれなかった流木が下流に至り氾濫を引き起こす例など、流木捕捉対策は十分とは言えない。そのため、小河川の橋梁部において、対象箇所に適切な流木対策が必要である。

例えば、國領ら<sup>6)</sup>は、既設堰堤への流木捕捉機能

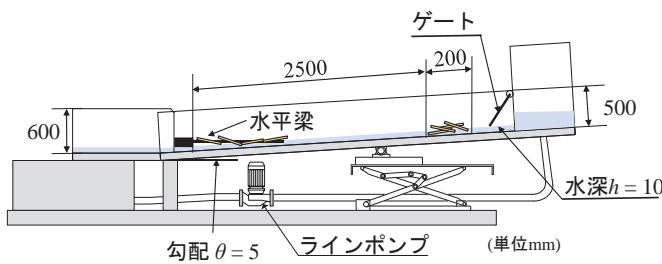
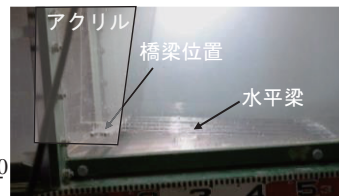
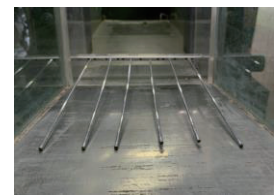


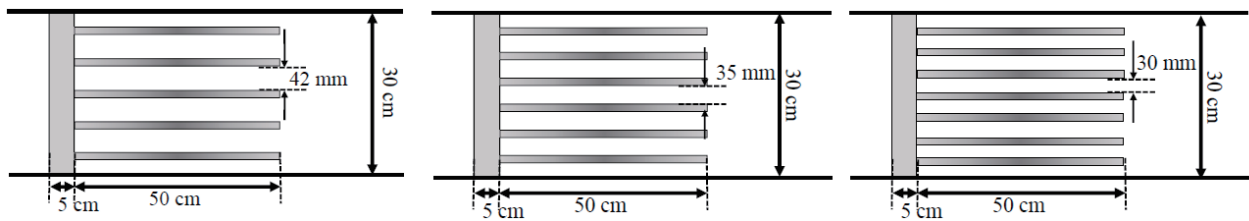
図-2 実験水路



(a) 側面図



(b) 正面図



(a) 捕捉工間隔  $w = 42$  mm

(b) 捕捉工間隔  $w = 35$  mm

(c) 捕捉工間隔  $w = 30$  mm

図-3 各々の捕捉工間隔の上面図

付与や、鳴海ら<sup>7)</sup>は、スクリーン型流木捕捉工のように流木の衝突を直接受けないように工夫した対策工のように現地の地形や構造物の特性に合わせた種々の流木対策工が検討されている。

ところで、流木混じり土石流における橋梁閉塞の発生および起因する被害は、流木が橋梁を通過できずに留まっていることが多くある。この対策として、流木と土砂が混在して流下する土石流において、効率的に土砂と流木を分離できるような施設を考案できれば、橋梁上流側で流木を漉しとり、残った土砂のみ下流に流下させることができると考えた。よって、図-1(a)のように土砂と流木を同時に捕捉するよりも、図-1(b)のように土砂と流木を分離して流木だけを捕捉することができる水平梁構造の方が効率的である。例えば、武藤ら<sup>8)</sup>は効率的に流木を捕捉するために、提案した水平梁捕捉工が、捕捉工間隔と流木長に影響を受けることを示した。しかし、捕捉工間隔に対する流木モデル長の相対値が小さい場合は、投入本数が多くてもほとんど捕捉されず、捕捉率が小さいままであった。Furukawa et al.<sup>9)</sup>は、流木と土砂の混合状態から流木のみを捕捉できることを確認し、様々な流木長に対して捕捉効果を確認した。そこでは、流木の流下条件が捕捉率に与える影響について示した。しかし、先行研究<sup>8),9)</sup>は流木形状の比較が少ない点や水路幅が小さい点や、現行法である流木捕捉工の捕捉工間隔比との比較も行っていないため検討の余地がある。

そこで本研究は、水平梁構造である捕捉工の捕捉率を基に整理して、橋梁閉塞対策の効果を検討するものである。その際、現行設計に用いられている捕捉工間隔比との関係や、流木形状や流下条件にお

ける流木捕捉効果について明らかにする。

## 2. 実験要領

### (1) 実験要領

実験水路内に提案した捕捉工を設置し、連続的に水を供給して流木モデルを流下させた。その際、捕捉された流木本数を計測する。さらに、後続の流水によって流木が捕捉工から抜けることもあるため、流木の再流出が止まるまで十分に待ったのち、計測を行った。流木捕捉率  $R_t$  は、

$$R_t = n_t/n \times 100 \quad (1)$$

ここで、 $n$  : 投入した流木本数、 $n_t$  : 捕捉工によって捕捉された流木本数である。

捕捉工によって流木の捕捉率は常に一定とならずばらつきが生じる。そのことを考慮して同条件下における実験を 10 回行い、その平均値を流木捕捉率  $R_t$  とした。

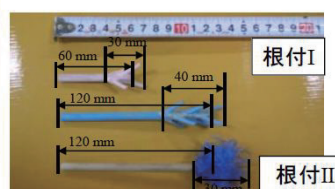
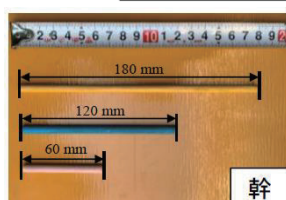
### (2) 実験装置

図-2 に示す実験水路は、長さ 4.3 m、幅 0.3 m、高さ 0.5 m の直線水路である。下流部に水平梁構造の捕捉工を設置して、捕捉工間隔および水路に流す流木モデルの形状、本数、流し方を変化させることで流木の運動形態や捕捉率を整理した。本研究では、文献<sup>8),9)</sup>を参考に  $\theta = 5^\circ$  に固定した。

写真-2 に、水平梁捕捉工を示す。捕捉工は、梁部分を直径  $\phi = 4.0$  mm のアルミ丸棒で、橋梁部分をアルミ板で作成した。写真-2 (a) の側面図より、橋梁部分から水路床までの高さは 10 cm である。また、水平梁捕捉工は、上流端をテープで水路床に固定す

表-1 実験ケース

投入方法	流木	長さ $l$ (mm)	本数 $n$	捕捉工間隔 $w$ (mm)
投入区間一定法	幹	60	20	42
		120		
		180		
	根付I	60		
		120		
		120		
根付II	60	40		
	120	60		
	120	80		
投入本数一定法	幹	120	100	30
	根付I			
	根付II			



(a) 幹モデル

(b) 根付 I, II

写真-3 流木モデル



(a) 幹モデル

(b) 根付 I

写真-4 閉塞のための確認実験

ることで、水流による浮き上がりを無くした。アクリル板と水路側面はクランプで固定した。写真-2(b)は、捕捉工間隔  $w = 35$  mm の正面図を示している。

図-3に、捕捉工間隔を変化させた3種類の水平梁捕捉工を示す。水平梁の捕捉工間隔は、 $w = 42, 35, 30$  mm の3種類とした。流下方向からの長さは、50 cm である。

### (3) 流木モデル

写真-3に、実験で使用する流木モデルを示す。本実験では、幹や根が及ぼす捕捉効果の影響を調べるため、形状の異なる3種類の流木モデル(幹モデル、根付I、根付II)を作成した。幹モデルは、長さが3種類、 $l = 60, 120, 180$  mm である。根付Iは、長さ  $l = 60, 120$  mm、根の部分は、それぞれ30, 40 mm である。また、根は木材で作成しているため変形しない。根付IIは  $l = 120$  mm、根の部分は30 mm である。根の部分は、プラスチック製であり柔軟性がある。全ての流木径  $\phi = 3$  mm である。流木は、事前に24時間以上、水に浸けた状態を使用した。なお、その時の比重は乾燥状態で0.65、湿潤状態で0.95である。

### (4) 投入要領

実験水路に設置した水平梁捕捉工の端部から上流側へ2.5-2.7 m の位置に、高さ50 cm の地点から流木モデルを落下させ、下流側に流下させる。実際に現地での流速と流量を想定して、フルード相似則に従い1/50の縮尺で実験を行う。本実験の流量は、平成30年7月豪雨(広島)における土砂洪水を参考

に、フルード則に基づき、流量  $Q = 5.6$  L/s に設定した。流速は、流木モデルが水路を1.0 m 流下するのに要した時間とし、撮影したビデオから計測した。

なお、ビデオの位置は流木捕捉工の位置に置き、流速  $v = 0.93$  m/s であった。また、文献<sup>8), 9)</sup>より投入区間一定法と投入本数一定法を採用した。なお、投入区間一定法では、実験水路に予め20 cm 区間をとり、高さ50 cm の位置から流木モデルを落下させた。流木モデルは、下流側に設置されている水平梁捕捉工で捕捉される。投入本数一定法では、流下する流木の密度が一定になるように1本/sの密度で水路に流下させた。

### (5) 実験ケース

表-1に、実験ケースを示す。捕捉工間隔および流木形状、本数をそれぞれ変化させ、計45通りを各ケース10回ずつ実施した。

### (6) 閉塞のための確認実験

写真-4は、確認実験として捕捉工が無い条件において流木が橋梁部分に閉塞することを示している。写真-4(a)は、流木長  $l = 120$  mm の幹モデルを流木本数  $n = 80$  とした時の閉塞状況である。また、写真-4(b)は、流木長  $l = 120$  mm の根付Iを流木本数  $n = 80$  とした時の閉塞状況である。いずれも閉塞している。これは、一般的な小橋梁の高さを基に、橋梁部の桁下面から水面までのクリアランスは根付I, IIが1本以上は同時に通過できる高さである。その結果、流木長  $l = 120$  mm 以上の流木を用いると全てのケースにおいて、そのまま流下するといずれ閉塞するこ



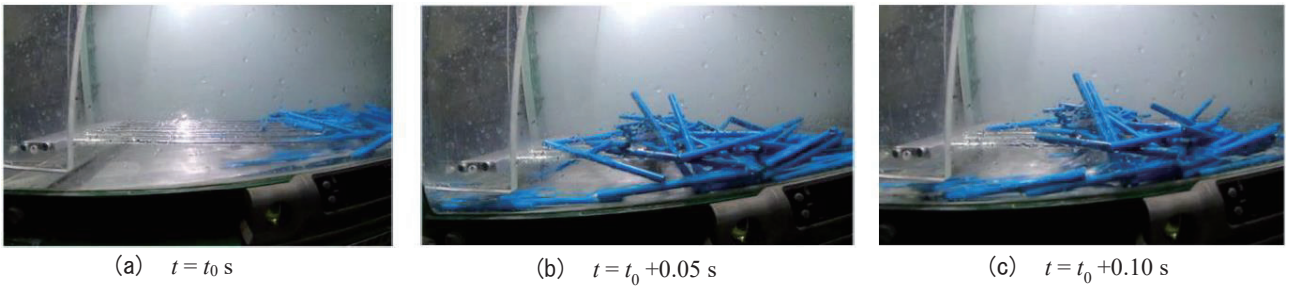


写真-5 捕捉工間隔  $W = 30 \text{ mm}$ , 幹モデル ( $l = 120 \text{ mm}$ )

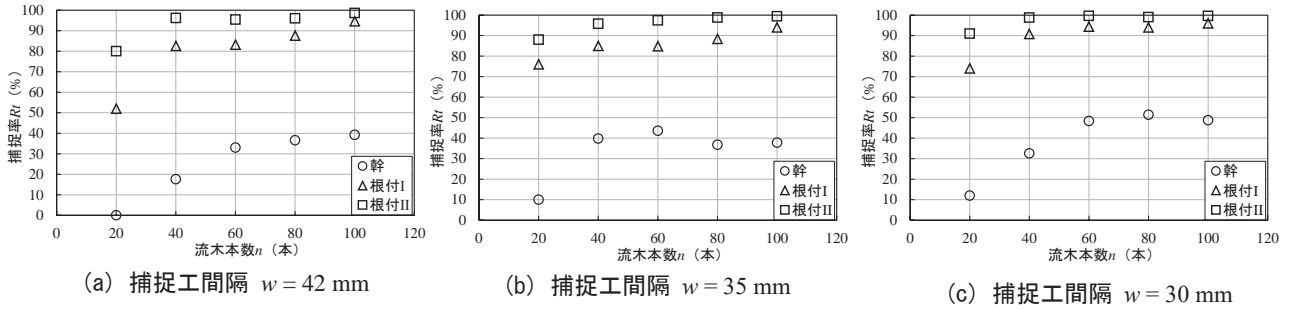


図-4 流木形状と捕捉工間隔の捕捉率の影響 (流木長  $l = 120 \text{ mm}$ )

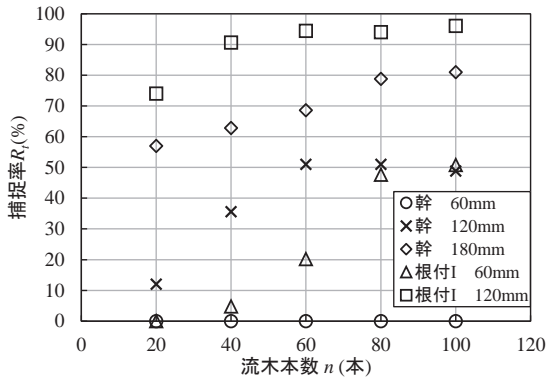


図-5 捕捉工間隔  $w = 30 \text{ mm}$  における流木長の影響

とを確認している。

### 3. 実験結果

#### (1) 流木の捕捉過程

写真-5 に、捕捉工間隔  $w = 30 \text{ mm}$ , 幹モデル, 流木本数  $n = 100$  本の実験結果を示す。写真-5(a) は、流木が水平梁捕捉工に到達している。写真-5(b) は、一気に流下してきた流木が捕捉されている。写真-5(c) は、流木が捕捉された以降も後続が流下している景況を示している。これより、上流側から流れてきた流木が一気に捕捉工に到達し、捕捉されていることが分かる。また、流木の向きが流下方向に対して平行の時は捕捉されずに、そのまま流下している。さらに、群で流下してきたものから遅れた流木は、流木の向きによって捕捉されずに流下している。流木が捕捉されるには、群での流下もしくは捕捉工に対して垂直に流下してくる必要がある。

#### (2) 流木の形状と捕捉工間隔の影響

図-4 に、3種類の捕捉工間隔に対して幹モデル、根付I, IIの流木本数と捕捉率関係を示す。いずれの結果においても、根付I, IIの方が幹モデルと比較して捕捉率が高い。さらに、流下本数によって捕捉率に影響が生じる。流木本数  $n = 60$  を境に流下してくる流木に影響なく捕捉率がほぼ一定に得られている。幹モデルで、 $R_i \approx 40\%$ 、根付I, II、 $R_i \approx 80, 90\%$  である。流木本数  $n = 100$  にすると根付IIは、 $R_i \approx 100\%$  近く捕捉される。これは、柔軟性のある根付IIの方が後方から流下してくるものと絡みやすく、捕捉工を通過するときは、流木が水平梁捕捉工に絡まりやすいことが原因と考えられる。いずれにしても少しでも根が付いていると捕捉されやすいことが分かる。また、捕捉工間隔が広いとき、流木本数が少ないほど大きく影響を受ける。これは流し方にも影響を受けるが、一気に流れてくる流木が捕捉工や後続流によって通過できなくなっているためである。流木が群で来ると流木同士で絡み合うことで捕捉されている。このことから流下本数における影響と根付形状の複雑さが捕捉効果を上げている。

しかし、捕捉量が多くなりすぎると流下を促す機構が失われる可能性もあるため、流木の捕捉について土砂と流木の流下の効率性について今後検討が必要である。

#### (3) 流木長の影響

図-5 に、捕捉工間隔  $w = 30 \text{ mm}$  における流木長の影響を示す。流木モデル毎に分けて捕捉率と流下本数の関係を整理した。流木長が長くなるにつれて

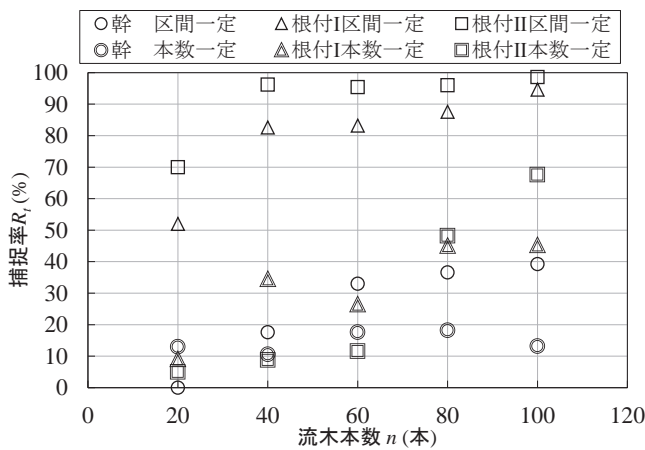


図-6 投入要領における影響の比較 ( $w = 42\text{mm}$ )

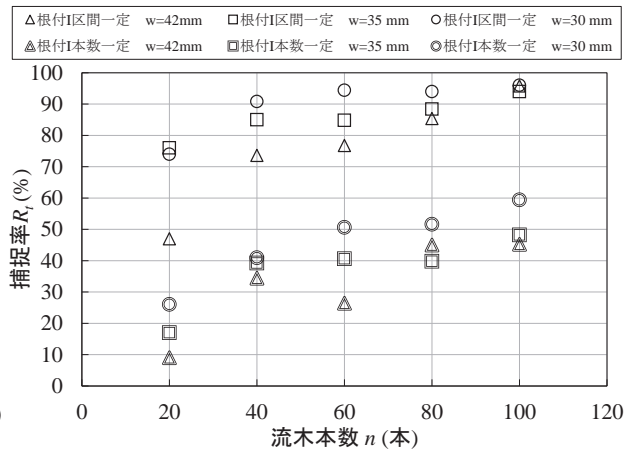
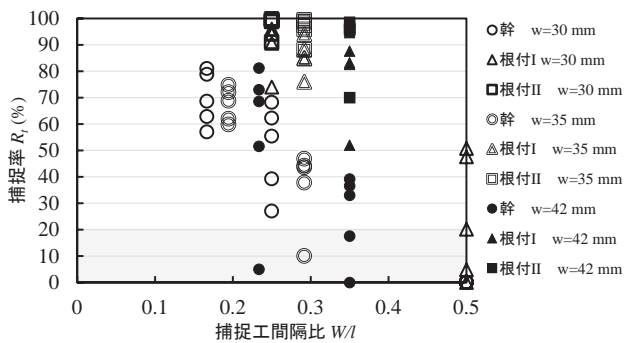
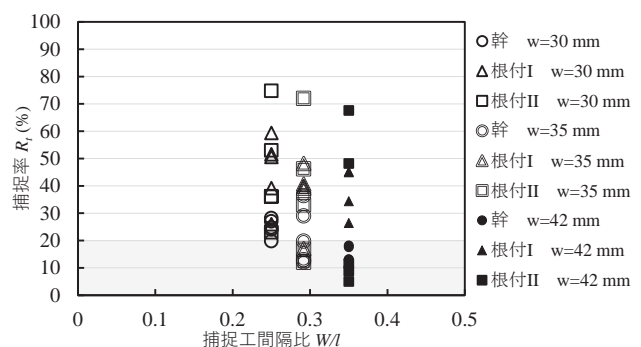


図-7 根付 I, 流木長  $l = 120\text{mm}$  の捕捉工間隔の影響



(a) 投入区間一定法



(b) 投入本数一定法

図-8 捕捉率と捕捉工間隔比 ( $w/l$ ) の関係

捕捉率が大きくなる。流木が長くなることで捕捉工にぶつかり流木同士が絡みやすくなることが示唆される。これは、捕捉工間隔  $w = 42\text{mm}$ ,  $35\text{mm}$  の条件でも同様の傾向であった。

#### (4) 投入要領の影響

図-6 は、投入要領の影響を見るために捕捉工間隔  $w = 42\text{mm}$  の捕捉率を示す。投入区間一定は、根付 I, II をほぼ捕捉されており、流木本数が  $n = 40$  本以上になると 8 割以上捕捉される。一方で、幹モデルは最大でも 40% 程度である。これは、幹モデルが群で流下しても、捕捉工との衝突で群の絡まりがばらけて、捕捉工を通過してしまうからである。

一方、投入本数一定法は、明らかに捕捉率が下がっている。これは、個々に流れる流木は流木同士が、絡み合うことが少ないため、捕捉工を通過してしまうからである。また、流木本数  $n = 40-80$  の範囲での捕捉率を比較すると幹モデルと根付 I, II では半分に落ちる。さらに、根付 I の流下本数  $n = 40$  と流下本数  $n = 60$  を比較すると、捕捉率が 33% から 25% に低下している。これは、投入本数一定法において捕捉工に留まっていた流木が後続から流下してくる流木の衝突によって下流に押し出されることが原因で

ある。なお、流下本数  $n = 80$  以降は後続から流れてくる流木が多くなるため捕捉率が低下することがなくなった。

従って、投入本数一定法は捕捉された流木が後続の流木によって流下してしまうことが生起する結果となった。そのため、50%未満であることが多くなる。このことは、流木の流下形態においては、投入本数一定法のような流れ（各個運搬）が多くあることから、流下の形態によって捕捉工間隔について検討する必要がある。

図-7 は、根付 I, 流木長  $l = 120\text{mm}$  における捕捉工間隔の影響を示している。これは、捕捉工間隔が狭くなると捕捉率を大きくする。また、その影響は投入本数が多くなるとさらに捕捉率を大きくすることが分かる。さらに、投入要領によって大きく捕捉率が変わることもわかる。これは、文献<sup>8)</sup>と同じである。以上より、投入要領、形状、流木本数順で捕捉率が大きく影響している。

#### (5) 捕捉工間隔比 ( $w/l$ ) の考察

図-8 は、捕捉工間隔比  $w/l$  における捕捉率の影響について示したものである。これは、文献<sup>10), 11)</sup>を参考に、流木捕捉工の捕捉工間隔  $w$  を決定するもので

ある。なお、捕捉工間隔比  $w/l \leq 0.5$  となるように定められている。本実験データを整理していくと、捕捉工間隔比  $w/l$  が小さくなると捕捉率が大きくなっている。また、投入方法が違ふことで捕捉率に影響を与えている。図-8(a)の投入区間一定法は、一気に流木が流れてくるため、捕捉されると捕捉率を大きくし、図-8(b)の投入本数一定法は、個々で流木が流れてくるため、一本でも流木が捕捉されないと捕捉率に影響を与えない。また、実験の最終形状を見ると、捕捉率が20%以下であると流木が橋梁の下を通過できずに閉塞を起こすことがあり、ここでは、グレー領域に色分けして示すこととした。そのため、いずれの結果においても捕捉率が20%以上ないと流木を安全に捕捉もしくは流下させることができない。このことから、捕捉工間隔比  $w/l \leq 0.25$  にすることで、90%以上のケースで橋梁閉塞を発生させないため、水平梁捕捉工の効果を発揮できると考えられる。

しかし、流木の形状や流下の条件並びに礫等が含まんだ場合については、実施していないため捕捉工の適用性を検討する必要がある。

#### 4. 結論

本研究は、水平梁捕捉工を用いて流木を流下させることで、形状や本数、流し方で捕捉率に与える影響について検討したものである。

- 1) 流木の複雑な形状が捕捉率に大きく影響を与えることが分かった。流木の形状が複雑な根付 II、投入本数一定法で流下させた場合である。
- 2) 捕捉工間隔に対する流木長の捕捉効果は異なり、捕捉工間隔が狭いと捕捉率が高くなる傾向が見られた。逆に、広い間隔であると複数のロッドに跨って乗り上がる流木モデルが少なく、ほとんどが捕捉されずに流下し、捕捉率が低くなる。
- 3) 従来の流木捕捉工で使用されている、捕捉工間隔比  $w/l \leq 0.25$  にすると水平梁捕捉工の目的を満たすことを示した。

今後は、勾配、流量、水深等を変えた条件や流木モデルの特性（流木径や根・枝葉の有無）を変化させる条件、流木モデルと土砂を同時に投入した際の流木と土砂の分離挙動について検討を進めていく。

**謝辞：**本研究は、科学研究費助成事業：基盤研究 B（課題番号 19H02993）の助成を受けて行われた。ここに記して感謝の意を表します。

#### 参考文献

- 1) 石川芳治, 池田暁彦, 柏原佳明, 牛山素行, 林真一郎, 森田耕司, 飛岡啓之, 小野寺智久, 宮田直樹, 西尾陽介, 小川洋, 鈴木崇, 岩佐直人, 青木規, 池田武穂: 2013年10月16日台風26号による伊豆大島土砂災害, 砂防学会誌, Vol. 66, No. 5, pp. 61-72, 2014.
- 2) 石川芳治: 最近の流木災害との特徴と対策, 第9回土砂災害シンポジウム論文集, pp. 61-66, 2018.
- 3) 海堀正博, 長谷川祐治, 山下祐一, 崎田博史, 中井真司, 桑田志保, 平松晋也, 地頭菌隆, 井良沢道也, 清水収, 今泉文寿, 中谷加奈, 柏原佳明, 加藤誠章, 鳥田英司, 平川泰之, 吉永子規, 田中健路, 林拙郎: 平成30年7月豪雨により広島県で発生した土砂災害, 砂防学会誌, Vol. 71, No. 4, pp. 49-60, 2018.
- 4) 丸谷知己, 海堀正博, 地頭菌隆, 水野秀明, 大野宏之, 清水収, 久保田哲也, 植弘隆, 金澤瑛, 河野貴則, 古賀省三, 小林央宜, 小林拓也, 坂島俊彦, 酒谷幸彦, 相楽渉, 篠原慶規, 鈴木大和, 高木将行, 鳥田英司, 中濃耕司, 藤澤康弘, 山口和也, 山田勇智: 2017年7月の九州北部豪雨による土砂災害, 砂防学会誌, Vol. 70, No. 4, pp. 31-42, 2017.
- 5) 国土交通省砂防部: 事務連絡, 平成29年7月九州北部豪雨災害を踏まえた今後の砂防事業における流木対策, 2017.
- 6) 國領ひろし, 佐々木司, 田村圭司, 廣井幸治, 嶋丈示: 既設不透過型砂防堰堤に付加する流木対策工に関する一提案, 砂防学会研究発表会概要集, pp. 113-114, 2018.
- 7) 嶋海正寿, 嶋丈示, 西村佳樹, 山下勝: 不透過型砂防堰堤の前庭保護工を利用したスクリーン型流木捕捉工の提案, 砂防学会研究発表会概要集, pp. 115-116, 2018.
- 8) 武藤弘典, 堤大三, 古川真由子, 内田太郎, 鈴木拓郎, 堀口俊行: 新たな流木捕捉工の開発のための急勾配水路実験による基礎的研究, 砂防学会誌, Vol. 73, No. 6, pp. 19-26, 2021.
- 9) M.Furukawa, D.Tsutsumi, H.Muto, T.Uchida, T.Suzuki, T.Horiguchi: Flume Experiments Evaluating the Efficacy of a Large Wood Trap Featuring Horizontal Rods, Water, Vol.13, pp.1837-1852, 2021.
- 10) 石川芳治, 水山高久, 福澤誠: 砂防ダムおよび流木スクリーンによる流木捕捉効果, 土木技術資料, Vol. 31, No. 9, pp. 41-47, 1989.
- 11) 渋谷一, 香月智, 大隅久, 石川信隆, 水山高久: 流木捕捉工の捕捉効果に関する実験的研究, 砂防学会誌, Vol. 63, No. 3, pp. 34-41, 2010.

(2022. 5. 30 受付)