

1 緒言

土石流・流木対策設計指針（以下、指針リとする。）では、透過型砂防堰堤の土石流と流木の捕捉について検討されている。指針リでは、透過部間隔の設定について確実に巨礫を捕捉するために $W = 1.0 \times d_{95}$ を基準としている。ところが、土石流中には、流木が混じることが多く、礫の捕捉に関する流木の混在効果について検討する必要がある。

そこで本研究は、透過型砂防堰堤の捕捉効果を検討するために、1/50 スケールの堰堤モデルを用いて土石流および流木混じり土石流の捕捉効果実験を行い、鋼管間隔を変化させ、その時に抜け出した礫および流木の数を基に、捕捉率に対する流木混合効果を実験的に検討するものである。

2 実験の概要

2.1 実験水路

図-1(a)に、実験水路の概要を示す。流下水路の寸法は、長さ4.35m、幅0.3m、高さ0.5mであり、底面はステンレス製、側面はガラス製で、側面から礫・流木の運動を観察可能である。水路床は、棧粗度（棧幅10mm、棧高さ5mm、設置間隔20mm）を設置している。

図-1(b)に、実験に用いた透過型砂防堰堤の捕捉に寄与する前面部の堰堤モデルを示す。ここでは、一般的に用いられる鋼管直径60cmに対応するφ12mmとして、木製円柱を使用して作製した。純間隔 W については、指針リで採用されている鋼管間隔と95%礫径の比 W/d_{95} を、1.0 ($W=25$ mm) を基準に、1.5、2.0、2.5の4種類を用いた。なお、本実験の堰堤モデルは、流木の混在が寄与する捕捉効果を目的としており、縦部材のみをモデル化した。

2.2 礫・流木混合モデル

実験に用いた礫・流木混合モデルは、図-2に示すような礫材および木材によって構成される。礫モデルには粒状石炭灰（比重 $\rho = 1.9$ ）を用い、粒径ごとの捕捉状況を観察するため、粒径30、15、10、5mmの4種類の礫径にふり分け、それぞれ灰色、緑色、黄色、赤色に着色した。また、礫モデルの粒径加積曲線は図-3の通りであり、最大礫径 $d_{\max} = 35$ mm、95%礫径 $d_{95} = 25$ mm、流木モデルとしてφ6×120mmの木材を使用した。さらに、本実験で使用した礫モデルは、球体に近いモデルを使用している。

2.3 実験条件

実験は、礫・流木混合モデルを図-1に示す水路上流に配置し、約4.4 l/sの流量を供給して流下させた。表-1に実験ケースを示す。水路の勾配15°とし、流木容積率を変化させて各ケース5回ずつの実験を行った。

なお、流木の混合については、実際の土石流において流木容積率が20%前後の値を示すことが報告されていることを参考に、実験の流木容積率は30、20、10%とし、流木を含めない場合（0%）の4種類とした³⁾。ここで、

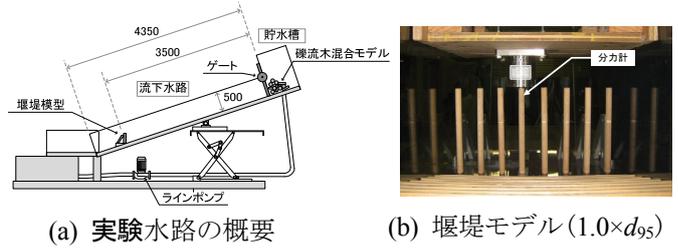


図-1 実験水路の概要



(a) 礫モデル（左から5, 10, 15, 30 mm）



(b) 流木モデル（φ6 長さ120 mm）

図-2 供試体

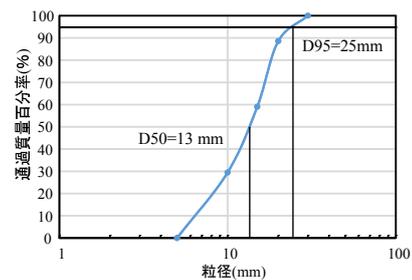


図-3 粒径加積曲線

表-1 実験ケース

勾配 θ	純間隔 W	流木本数(本) (流木容積率 K_w)
15°	$1.0 \times d_{95}$ (25 mm)	0 (0%)
	$1.5 \times d_{95}$ (37.5 mm)	200 (10%)
	$2.0 \times d_{95}$ (50 mm)	450 (20%)
	$2.5 \times d_{95}$ (62.5 mm)	721 (30%)

流木容積率 K_w とは次式で表される。

$$K_w = \frac{V_l}{V_g + V_l} \times 100 \quad (\%) \quad (1)$$

ここで、 V_g ：礫モデルの容積、 V_l ：流木モデルの容積。

なお、実験では表-1に示すように礫の総量（約8600個）に対して流木量を変化させた実験を行った。

3 実験結果

3.1 礫および流木捕捉状況

ここでは、図-4(a), (b)に鋼管間隔の影響を大きく受けた $W = 2.5 \times d_{95}$ における流木容積率 K_w が10、20%における捕捉状況を示している。まず、流木容積率10%のケースでは捕捉工間隔の広さの影響を受けて流木とともに礫が水と一緒に流れ出しており、流木捕捉状況はあま



(a) 流木容積率 10% (b) 流木容積率 20%

図-4 流木混じり土石流の捕捉状況 ($W=2.5 \times d_{95}$)

り良くない。一方、流木容積率 20% のケースでは、流木が捕捉されることによって礫がその間隙を通過できなくなり、礫が流れ出ずに捕捉されている。つまり、後続の礫が時間とともに先行堆積した礫に乗り上げ、堆積した礫と流木は不動状態となり一体化している。流木容積率が小さい図-4(a)との捕捉状況の違いが分かる。

3.2 流木容積率が捕捉率に与える影響

図-5 は、捕捉率～流木容積率関係において鋼管間隔をパラメータとして示したものである。また図-6 は、見方を変えて捕捉率～鋼管間隔関係において流木容積率をパラメータとして示したものである。

(1) 流木容積率が 10%, 20% の場合、鋼管間隔 (W/d_{95}) が 1.0, 1.5, 2.0 まで礫捕捉率および流木捕捉率はほぼ 100% に近い。しかし、鋼管間隔 (W/d_{95}) が 2.5 になると、流木容積率が 10% のとき礫捕捉率が約 80%、流木捕捉率が 70% に低下している。

(2) 流木容積率が 30% の場合、鋼管間隔 (W/d_{95}) が 2.5 でも礫捕捉率および流木捕捉率ともほぼ 100% に近い。すなわち、土石流中の流木の存在が礫捕捉率に与える影響が大きいことを示している。

(3) 流木容積率が 0% の場合、今回の実験では鋼管間隔 (W/d_{95}) が 1.5 でも礫捕捉率はほぼ 0% となったが、この理由は以下のとおりである。

- ① 使用した礫は、図-2(a) に示したように球形であり、礫同士のかみ合い(インターロッキング)がなく、礫と鋼管との間のアーチアクションも行われなかったこと。
- ② 水の供給方法は礫がなくなるまで流し続けたこと。などに起因するものである。なお、自然礫を使用した場合、鋼管間隔 (W/d_{95}) が 1.5 のとき、完全に礫は捕捉された実験も過去⁴⁾に行っており、今回は礫の球形に起因するものである。

3.3 流木容積率が流出率に与える影響

捕捉率の見方を変えて、下流へ流出した流木の流出率を図-6 に示した。これより、鋼管間隔 (W/d_{95}) が 2.5 のとき以外は、流木流出率はほぼ 0% に近いことが分かる。

4 結言

本研究では、透過型砂防堰堤における流木混じり土石流の捕捉実験を行い、流木容積率が捕捉効果に及ぼす影響について検討したものである。鋼管間隔 (W/d_{95}) が 2.0 までは、流木が混じることでほぼ完全に捕捉された。しかし、鋼管間隔 (W/d_{95}) が 2.5 の場合では、流木容積率が 10% の場合でも捕捉率が顕著に減少することが分かった。よって、本実験の範囲内では、流木が混入する場合でも鋼管間隔 (W/d_{95}) は 2.0 以下にするべきであることが確認された。

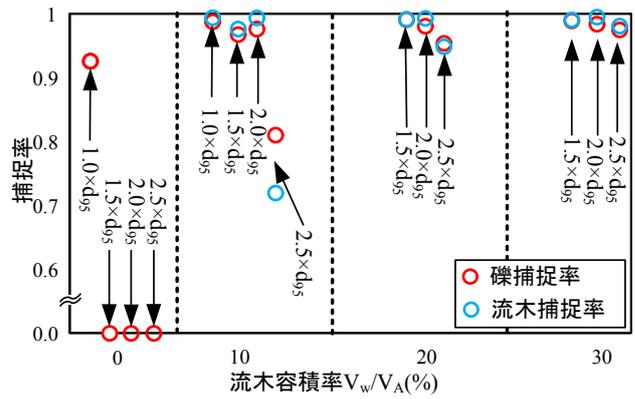


図-5 捕捉率～流木容積率関係

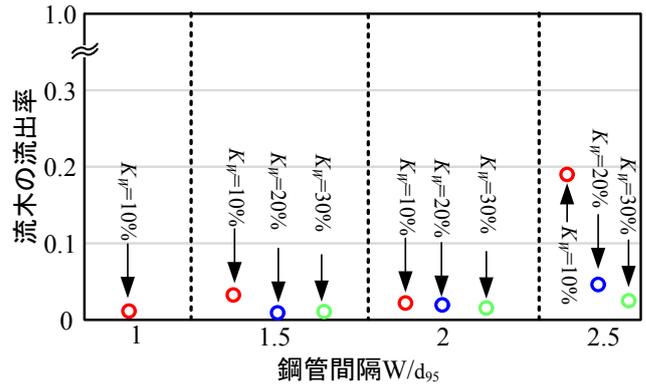


図-6 捕捉率～鋼管間隔関係

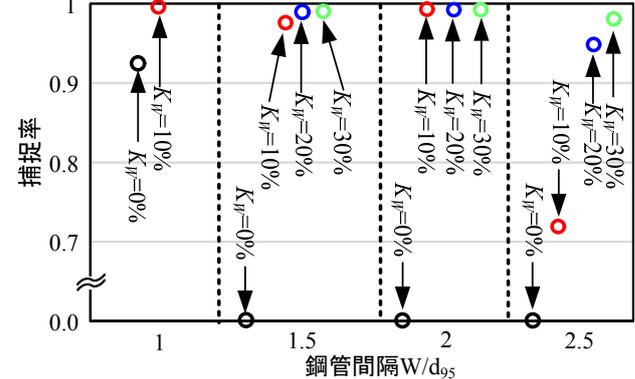


図-7 流木の流出率

参考文献

- 1) 国土交通省 国土技術政策総合研究所：土石流流木対策設計技術指針解説，2016。
- 2) 香月智，渋谷一，大隅久，國領ひろし，石川信隆：個別要素法による透過型砂防堰堤の流木混じり土石流捕捉解析，土木学会論文集 A2(応用力学)，Vol.69, No.1, pp.16-29, 2013。
- 3) 小山内信智，平松晋也，石川芳治：流木対策施設の効果と維持管理体制の現状，砂防学会誌，Vol.50, No.6, pp.48-51, 1998。
- 4) Nobutaka SHIKAWA, Joji SHIMA, Tomoo MATSUBARA, iroshi TATESAWA, Toshiyuki HORIGUCH and Takahisa MIZUYAMA：TRAPPING MECHANISM OF DEBRIS FLOW BY STEEL OPEN DAMS, Proc. of the INTERPRAEVENT 2014 in the Pacific Rim, Natural Disaster Mitigation to Establish Society with the Resilience, Nov.2014, Nara, Japan