

捕捉面形状の異なる鋼製透過型砂防堰堤の捕捉性能に関する実験的研究

日鉄建材株式会社 ○石垣拓也, 國領ひろし, 笠原啓
防衛大学校 堀口俊行, 宮原邑太, 斎藤和樹

1. はじめに

土石流・流木を効果的に捕捉する構造物である鋼管フレーム構造の鋼製透過型砂防堰堤は、土石流をより確実に捕捉するためには、縦部材および横部材の純間隔を最大礫径（ここでは d_{95} ）の1.0倍程度に配置するものとされている¹⁾。一方で、捕捉対象礫径の最小値は $d_{95}=20\text{cm}$ とされている²⁾が、最大礫径が小さい場合、鋼管フレーム構造では製作および組立上、縦横部材を最大礫径 d_{95} の1.0倍程度で格子状に配置することは困難であり、例えば、土石流捕捉機能を低下させずに、横部材のみで土石流等を捕捉する等の構造が必要とされる。

そこで本研究では、横部材のみが配置された鋼製透過型砂防堰堤モデルを対象に、水理模型実験による捕捉機能の検証を行った。

2. 水理模型実験概要

水理模型実験の概要図を図-1に、実験の諸条件を表-1にそれぞれ示す。実験は、直線実験水路（ $L4.0\text{m}\times W0.3\text{m}\times H0.5\text{m}$ ）を使用し、フルードの相似則を適用して1:10の縮尺で実施した。実験ケースは、表-2と写真-1に示すように、横部材のみを配置した堰堤モデル2種類（純間隔が $d_{95}\times 0.75$ と $d_{95}\times 1.0$ ）と、格子状に部材を配置した堰堤モデル（純間隔 $d_{95}\times 1.0\times 1.0$ ）、不透過型の堰堤モデルの合計4種類の堰堤モデルを用意し、各堰堤モデルに対して、礫のみを流下させたケース（ケース1~4）と、礫と流木を流下させたケース（ケース1-R~4-R）の合計8ケースを実施した。各ケースとも実験回数は3回行い、それぞれ、堰堤を通過および越流した礫の重量を、流下させた礫の総重量で除した値の平均を、礫の平均捕捉率（以下、礫捕捉率という）として求めた。また、礫と流木を流下させたケースでは、堰堤を通過および越流した流木本数を、流下させた流木全数で除した値の平均を、流木の平均捕捉率（以下、流木捕捉率という）として求めた。

3. 実験結果

礫捕捉率の結果を図-3と図-4に、流木捕捉率の結果を図-5にそれぞれ示す。いずれのケースも95%前後の礫捕捉率となる結果を得た。礫のみを流下させたケース（図-3）では、捕捉面形状によって礫捕捉率に差があるものの、礫と流木を流下させたケース（図-4）では、捕捉面形状による礫捕捉率の差はほとんど無かった。

3-1. 礫のみを流下した礫捕捉率の結果について

図-3の礫のみを流下させたケースをまとめた結果では、ケース4の不透過型堰堤モデルの礫捕捉率が最も高くなった。

ここで、横材のみを配置した堰堤モデルと、部材を格子に配置した堰堤モデルの礫捕捉率について比較した。まず、ケース1（横材のみ、純間隔 $d_{95}\times 0.75$ ）とケース3（格子配置、純間隔 $d_{95}\times 1.0\times 1.0$ ）の結果を比較したところ、礫捕捉率はケース

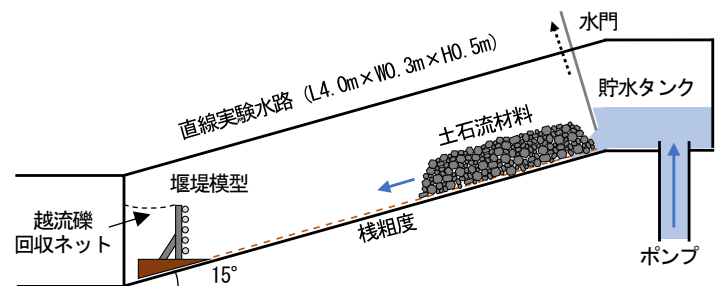


図-1 水理模型実験概要図

表-1 実験諸条件

項目	$S=1/\lambda$ の縮尺量	実大	模型	備考
水路				
勾配 θ	—	15°	15°	
流量 Q	$\lambda^{2.5}$	3.2m³/s	102/s	
土石流材料				
最大礫径 d_{95}	λ	0.2m	20mm	
粒径				
20-30	λ^3	3.5m³	3.52	4号砕石：平均粒径25mm
13-20	λ^3	16.0m³	16.02	5号砕石：平均粒径16.5mm
5-13	λ^3	16.0m³	16.02	6号砕石：平均粒径9mm
2.5-5	λ^3	4.5m³	4.52	7号砕石：平均粒径3.75mm
土砂量計 V	λ^3	40.0m³	40.02	
流木材料				
流木長 l	λ	1.5m	150mm	根無し、流木長一様
直径 d	λ	0.1m	10mm	
流木容積率 K_w	—	0.4%	0.4%	

表-2 実験ケース

ケースNo.	部材配置間隔（純間隔）	流木容積率
1	$d_{95}\times 0.75$ （横部材のみ）	0%
2	$d_{95}\times 1.0$ （横部材のみ）	
3	$d_{95}\times 1.0\times 1.0$ （格子配置）	
4	不透過型	
1-R	$d_{95}\times 0.75$ （横部材のみ）	4%
2-R	$d_{95}\times 1.0$ （横部材のみ）	
3-R	$d_{95}\times 1.0\times 1.0$ （格子配置）	
4-R	不透過型	

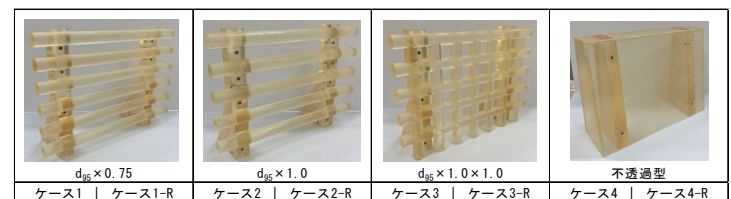


写真-1 堰堤模型

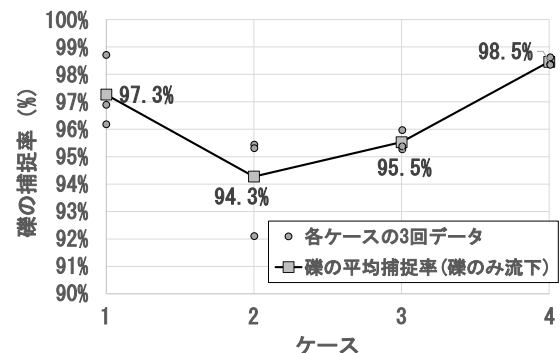


図-3 礫捕捉率（礫のみを流下したケース）の結果

1の方が1.8%高い結果となっており、部材の純間隔を小さくすることで、縦部材を入れて格子配置にしなくても、横部材のみで同等以上の礫捕捉率を得られることが示唆された。

次に、ケース2（横材のみ、純間隔 $d_{95} \times 1.0$ ）とケース3（格子配置、純間隔 $d_{95} \times 1.0 \times 1.0$ ）の礫捕捉率を比較したところ、ケース3の方が1.1%高い結果となった。部材の純間隔が同じ場合は、礫捕捉率は格子配置にした堰堤モデルの方が高い結果になることが分かった。ただし、いずれのケースも礫捕捉率は95%前後あり、その差も数パーセントの差となった。

3-2. 礫と流木を流下した礫捕捉率の結果について

図-4の礫と流木を流下させたケースをまとめた結果では、各ケースとも同程度の礫捕捉率となった。ケース1-R～3-Rは、礫のみを流下したケースに比べて礫捕捉率は向上しており、特にケース2-R（横材のみ配置、純間隔 $d_{95} \times 1.0$ ）は、他のケースよりも大きく向上し、礫捕捉率が約3%向上した。一方で、不透過型のケース4-Rは、礫のみを流下したケースに比べて、礫捕捉率は低下しており、流木の越流が非常に多く、流木と共に礫も越流していたことが考えられる。

3-3. 流木捕捉率の結果について

図-5の流木捕捉率の結果では、縦部材を配置したケース3-Rが、横部材のみを配置したケースよりも高い結果となった。礫のみを流下したケースの礫捕捉率の結果（図-3）では、礫捕捉率はケース1よりも低い結果だったが、格子配置のように縦部材があることで、流木の捕捉性能は向上すると考えられる。また、ケース4-Rの不透過型堰堤モデルについては、流木の越流によって、流木捕捉率が非常に低かった。写真-1に示す捕捉状況のように、流木捕捉率の最も高かったケース3-Rと、最も低かったケース4-Rでは、捕捉した流木量に大きく差が生じているのが分かる。

3-4. 堰堤を通過した礫の内訳

図-6に、堰堤を通過した礫の内訳を示す。ここでは、礫の通過率（通過した礫の重量を、流下した礫の総重量で除した値）を求めて整理した。図-6の結果より、礫のみを流下したケース1～3は、各ケースの部材の純間隔によって、捕捉できなかった（通過した）礫径が異なり、例えば、部材の純間隔が最も広いケース2（横部材のみ、純間隔 $d_{95} \times 1.0$ ）は、礫径13-20mm以下の礫径の通過率が高い結果となっている。一方、礫と流木を流下したケース1-R～3-Rについては、いずれのケースも各礫径の通過率は低くなっており、礫の流下総量に対して1%未満の通過率となった。

4. まとめ

横部材のみを配置した堰堤モデルや部材を格子に配置した堰堤モデルなどを対象に、水理模型実験による捕捉機能の検証を行った。各ケースとも95%前後の礫捕捉率を確認した。また、礫と流木を流下させたケースにおいては、各ケースともほぼ同等の礫捕捉率を得られており、今回の実験では、横部材のみでも、不透過型や格子配置の堰堤モデルと同程度の礫捕捉率を得られる可能性があることが分かった。流木を含む土石流を想定する場合は、横材のみを配置した堰堤モデルで、純間隔を $d_{95} \times 1.0$ 程度にしたものでも適応可能と考えられる。

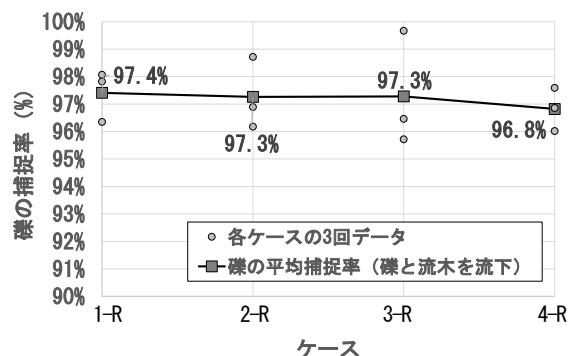


図-4 礫捕捉率（礫と流木を流下したケース）の結果

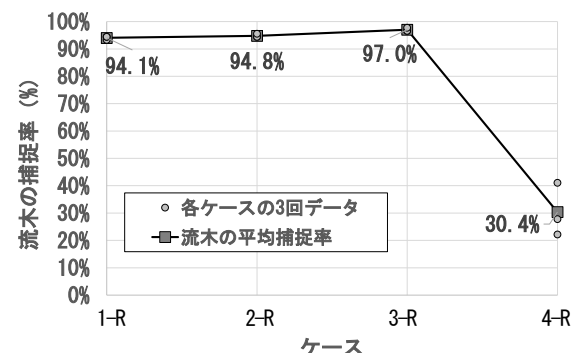


図-5 流木捕捉率の結果

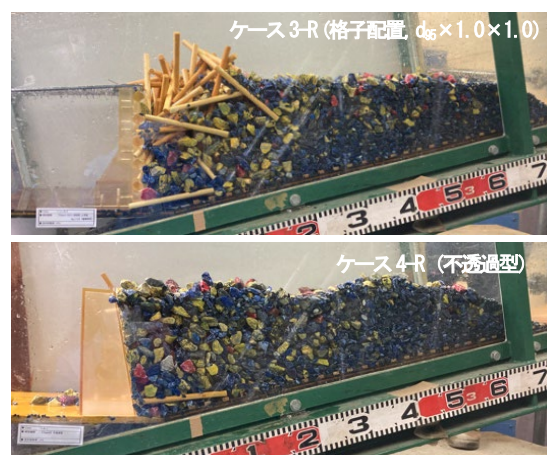


写真-1 捕捉状況（礫と流木を流下させたケースの一例）

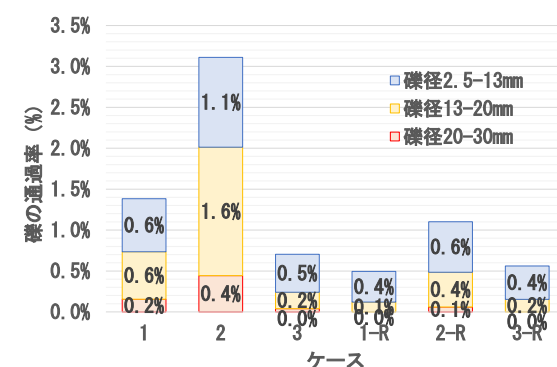


図-6 堰堤を通過した礫の内訳

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年4月）。2) 一般財団法人 砂防・地すべり技術センター：鋼製砂防構造物設計便覧〈令和3年版〉。