

流水型ダムの流木捕捉および水理特性

前橋工科大学 学生会員 ○有元 祐成
前橋工科大学 正会員 平川 隆一

1. 研究背景および目的

近年、線状降水帯などによる集中豪雨が増加しており、ダムや遊水地などの治水施設が建設されている。そのうち流水型ダムは、豪雨時に水を貯め、すぐ排出するため、通常時は川の流れを阻害しない。しかし、豪雨により発生した大量の流木が洪水吐に捕捉されることで、洪水後の土砂排出機能が損なわれる可能性がある。

先行研究は、流水型ダムのピア部の流木挙動を示したもので、橋梁上流側の流木集積による堰上げ水深や全面閉塞条件を示したもの²⁾などがある。しかし、流水型ダムの流木集積特性と周辺の水理特性の関係を示した研究は未だない。そこで、本研究では流水型ダムの洪水吐での流木捕捉と、そのときの堤体上流側の水理特性の関係性について解明することを目的とする。

2. 実験方法

実験に用いる水路は、長さ 15m、幅 0.4m、高さ 0.4m の可変勾配水路であり、勾配を $i=1/81$ とした。流水型ダムの模型は、堤体中央下部に高さ $H=5\text{cm}$ 、幅 $B=5\text{cm}$ の常用洪水吐を設けた。流木捕捉実験では、直径 $d=0.3\text{cm}$ 、長さ $l=4\text{cm}$ 、 6cm 、 8cm 、比重 0.93 の流木模型を用い、ダム模型の上流 0.5m の位置から毎秒 1 本ずつ投入し、計 100 本の流木を投入した。これを各ケース 3 回繰り返した。ダム堤体上流側の水深は $h=6\text{cm}$ 、 8cm に設定した。流木投入位置は、水路左岸側から 5cm、20cm とし、それぞれの位置での流木投入向きは、水路横断方向に水平な横向き、垂直な縦向きで投入した。ここで、ダム堤体の常用洪水吐を通過しなかった流木本数を投入本数で除した値を P とし、これを流木捕捉率とする。

ダム堤体上流側の流速計測は、PIV を用いて行う。ダム堤体上流側近傍の水深は、 $h=4.5\text{cm}$ 、 6cm 、 7cm 、 8cm に設定し実験を行った。水路下側から厚さ 2mm のレーザーシートを、左岸から 20cm の位置の xy 面に照射し、水路左岸に設置したカメラで撮影した。座標軸はダム堤体上流側河床部の位置を原点とし、上流方向を x 軸、鉛直方向を y 軸とし、 U 、 V はそれぞれ流下方向流速、鉛直方向流速とする。本研究での U 、 V は洪水吐での断面平均流速 U_m で除し無次元化した。

表 1 実験条件

case	堤体上流側水深 h (cm)	水路左岸からの投入位置(cm)	流木投入向き	流量 Q (l/s)	水路勾配 i
case1	6	20	縦	1.5	1/81
case2	6	5	縦	1.5	1/81
case3	6	20	横	1.5	1/81
case4	6	5	横	1.5	1/81
case5	8	20	縦	1.9	1/81
case6	8	5	縦	1.9	1/81
case7	8	20	横	1.9	1/81
case8	8	5	横	1.9	1/81

3. 実験結果および考察

(1) 流木捕捉実験

ダム堤体上流側の水深 $h/H=1.2$ での流木長と流木捕捉率の関係を図 1 に示す。case1 では、 $l/B=0.8$ 、1.2 の場合は捕捉率が 0 であり、 $l/B=1.6$ の場合は、捕捉率が 0.18 である。case2 では、 $l/B=0.8$ 、1.2 の場合は、捕捉率が 0 であり、 $l/B=1.6$ の場合は、捕捉率は 0.02 である。case3、case4 ではいずれも $l/B=0.8$ 、1.2 の場合は捕捉率が 0 であり、 $l/B=1.6$ の場合の捕捉率も 0.1 以下である。 $h/H=1.2$ では、最も長い $l/B=1.6$ の流木も捕捉されにくいことがわかる。これは、水面と洪水吐上部の位置の差が 1cm と近いと、慣性力が浮力を上回るからであると考えられる。

ダム堤体上流側の水深 $h/H=1.6$ での流木長と流木捕捉率の関係を図 2 に示す。case5 では、 $l/B=0.8$ 、1.2、1.6 の場合の捕捉率はそれぞれ 0.15、0.4、0.6 である。また、case6 では $l/B=0.8$ 、1.2、1.6 の場合の捕捉率はそれぞれ 0.5、0.4、0.35 である。case7、case8 では、全ての長さで捕捉率は 0.3 程度であり、全ての流木長で捕捉されやすくなることがわかる。特に、 $l/B=0.8$ の流木が多く捕捉された理由として、 $h/H=1.6$ では、水面と洪水吐上部の位置の差が 3cm と離れていることから、水面近傍で浮力が慣性力を上回るからであると考えられる。

(2) 流速分布

主流速 U の $x/H=0.28$ における鉛直分布を図 3 に示す。 $h/H=0.9$ では、 $y/H=0.1$ で最大になり、 $y/H=0.15$ では急激に小さくなる。 $y/H=0.15$ から $y/H=0.3$ にかけてはほぼ一定であるが、 $y/H=0.3$ から水面にかけて小さくなり、

キーワード 流水型ダム、流木捕捉、水理特性、流木長

連絡先 〒371-0816 群馬県前橋市上佐鳥町 460-1 前橋工科大学 TEL : 027-265-0111 E-mail : hirakawa@maebashi-it.ac.jp

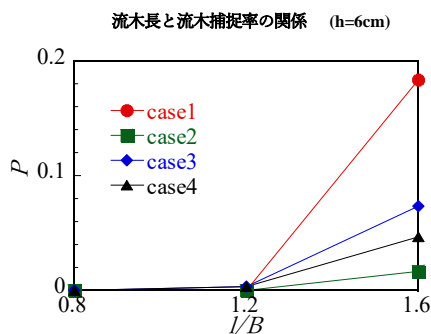


図1 $h/H=1.2$ での流木長と流木捕捉率の関係

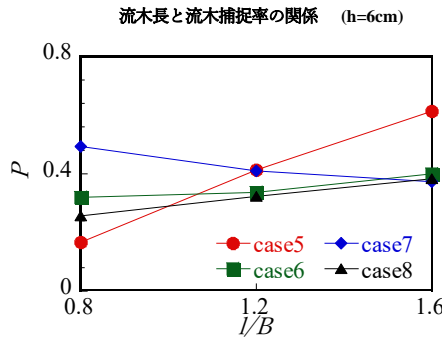


図2 $h/H=1.6$ での流木長と流木捕捉率の関係

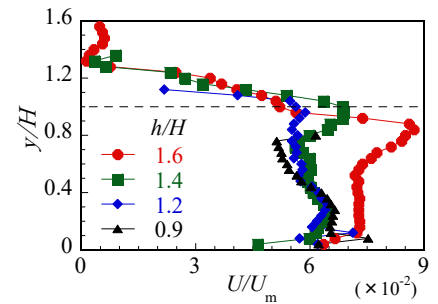


図3 $x/H=0.28$ での流下方向流速 U の鉛直分布

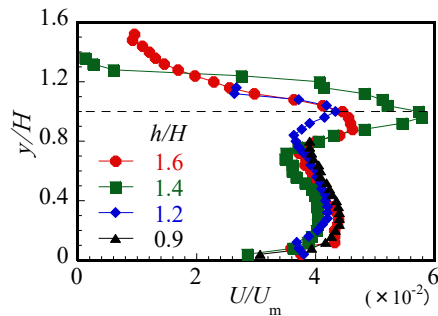


図4 $x/H=0.6$ での流下方向流速 U の鉛直分布

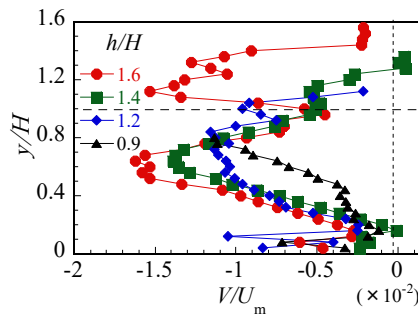


図5 $x/H=0.28$ での鉛直方向流速 V の鉛直分布

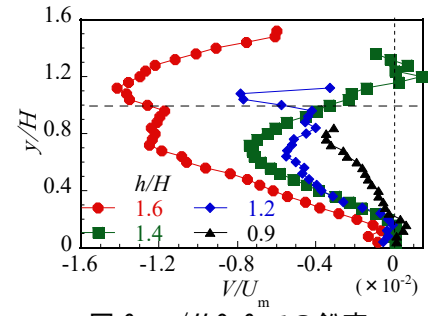


図6 $x/H=0.6$ での鉛直方向流速 V の鉛直分布

水面付近で急激に大きくなる。 $h/H=1.2, 1.4$ では、底面から $y/H=0.8$ にかけて $h/H=0.9$ と同じ傾向であるが、 $y/H=1$ で最大値となり、水面付近では急激に小さくなる。 $h/H=1.6$ では、 $y/H=0.9$ で最大値となり、水面付近で急激に小さくなる。

主流速 U の $x/H=0.6$ における鉛直分布を図4に示す。 $h/H=0.9$ では、底面から $y/H=0.3$ にかけて大きくなり、 $y/H=0.3$ で最大値をとる。水面にかけては $x/H=0.28$ の場合と同じ傾向である。 $h/H=1.2, 1.4$ では $x/H=0.28$ の場合とほとんど同じ傾向を示すが、 $y/H=1$ 付近で大きく上昇する。 $h/H=1.2, 1.4, 1.6$ の場合に $y/H=1$ 付近で U が大きくなった原因は、洪水吐へ吸い込まれる流れが強まる位置であるからと考えられる。

鉛直流速 V の $x/H=0.28$ における鉛直分布を図5に示す。 $h/H=0.9$ では、 $y/H=0.2$ で下向きの流れが最小値をとると、水面にかけて小さくなり、水面付近で最大値をとる。 $h/H=1.2, 1.4$ では、 $y/H=0.1$ から $y/H=0.6$ にかけて下向きの流れが大きくなり、水面にかけて減少する。 $h/H=1.6$ では、 $y/H=0.6, 1.1$ で下向きの流れが最大値をとっていることから、洪水吐上部の上下の位置で下降流が強まっていることがわかる。また、流量が多いと、鉛直方向の吸い込みが強まることわかる。

鉛直流速 V の $x/H=0.6$ における鉛直分布を図6に示す。 $h/H=0.9$ では、底面から水面にかけて下向きの流れが強くなる、 $h/H=1.2, 1.4$ ではどちらも $y/H=0.6$ で下向

きの流れが最大値をとる。 $h/H=1.6$ では $y/H=0.8, 1.1$ で下向きの流れが極大値をとり、水面にかけて減少する。図5, 6より、 $h/H=0.9$ では、下向きの流れは y 方向の各位置で比較すると、どの高さにおいても $x/H=0.28$ の方が $x/H=0.6$ より大きくなるが、 $h/H=1.6$ では、 $y/H=1$ の場合、 $x/H=0.28$ での下向きの流れは、 $x/H=0.6$ の場合よりも小さくなり、洪水吐上部の位置では、堤体に近いほど下降流が減少することがわかる。

4. まとめ

流木捕捉実験の結果より、 $h/H=1.2$ では、 $l/B=1.6$ の流木であっても捕捉されにくく、 $h/H=1.6$ は、流木の長さに関わらず捕捉されやすくなることがわかった。

PIV 計測の結果より、水深が洪水吐上部の位置よりも深くなると、1割水深程度では洪水吐への流れが発生するが、それよりも上方では洪水吐への流れが小さくなることわかった。

参考文献

- 1) 櫻井寿之, 柏井条介: 治水専用ダム放流設備入口部の流木対策, 水工学論文集, 第50巻, pp.1261-1266, 2006.
- 2) 岡本隆明, 染谷智紘, 松本知将, 山上路生, 田中健太: 橋梁部での流木沈下過程と全面閉塞の限界条件に関する実験的研究, 自然災害科学 JJSNDS, 39-4, pp.423-437, 2021.