

京都大学工学部
 京都大学大学院工学研究科
 京都大学大学院工学研究科

学生員 ○染谷智紘
 正会員 岡本隆明
 フェロー 戸田圭一

1. はじめに

集中豪雨時には大量の流木が橋脚に引っかかることで河道が閉塞し、洪水被害を大きくすることが知られている。さらに橋梁を迂回した氾濫流が家屋流出させるなどの被害が報告されている。さらに、流木が家屋に衝突したり、そのまま突き刺さることで家屋被災をより拡大させており、その対策が急務となっている。流木被害を予測するには構造物の破壊の有無を知る必要があり、流木衝突力の評価が重要となるがこれまで氾濫時の流木の構造物への衝突を扱った研究は少ない。そこで本研究では橋梁閉塞を再現して水路実験を行い、投入した流木が氾濫原の家屋模型に衝突したときの衝突力を計測し、流木衝突による家屋被害の拡大について考察する。さらに橋梁閉塞時の氾濫流速をPIV計測し、トラッキング追跡した流木の移流速度と比較することで流木の氾濫流に対する追従性を評価した。

2. 実験手法および水理条件

図-1に実験装置図を示す。実験には長さ10m、幅40cm、高さ50cmの変可変配水路を用いた。x, yおよびzは、それぞれ流下方向、鉛直方向および横断方向である。x=0は河道閉塞部の流下方向位置とした。氾濫原模型を水路両側に設置した。低水路幅は $B_m=20\text{cm}$ 、左岸側と右岸側の氾濫原幅は $B_f=10\text{cm}$ 、両岸の高水敷高さは $D=10\text{cm}$ とした。橋梁模型は水路上流端から4.0mの位置に設置した。橋梁模型の前面には幅20cm高さ15cmのアルミ製ポーラス板(パンチ径3.0mm)を設置し、大量の流木が一度に橋梁に捕捉され河道閉塞した状態を再現した。河道閉塞率 A_b/A は既往研究の流木投入実験¹⁾の堰上げ水深をもとに決定している。ここで、河道全体の断面積をA、河道閉塞部の断面積を A_b とした。

図のように橋梁模型の1m上流から低水路と氾濫原の境界部に流木模型を投入し、下流側の氾濫原家屋に衝突させた。そこで流木模型として木製円柱(直径 $d=6\text{mm}$ 、長さ $l=12\text{cm}$:1/80スケール、比重0.6)を用いた。左岸の氾濫原に家屋を模した柱状物体(1/80スケール:6cm×6cm×6cm)を設置し、水路上方から支持棒を介して固定したデジタルプッシュプルゲージ(分解能1/1000N)を用いて、流木衝突時の氾濫原家屋に作用する流体力を20秒間計測した。デジタルプッシュプルゲージはパソコンに接続することで、家屋にかかる流体力の時系列データ(サンプリングレート2000Hz)を得ることができる。家屋模型の設

表-1 水理条件

$Q(\text{l/s})$	$U_m(\text{cm/s})$	$H_m(\text{cm})$	Fr	A_b/A	$D(\text{cm})$	$l(\text{cm})$	実験の種類
7.0	50.0	7.0	0.60	0.65	10.0	12.0	流木衝突力計測(1本) 流木衝突力計測(2本) 流木カラートラッキング追跡
						-	氾濫流のPIV計測

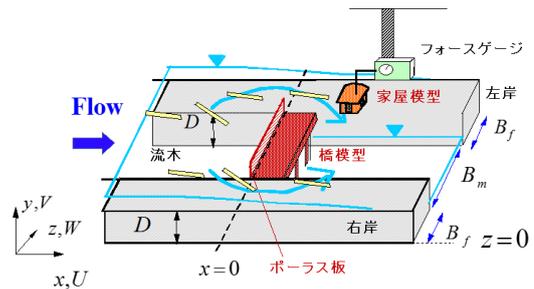


図-1 氾濫原家屋にかかる流木衝突力計測装置

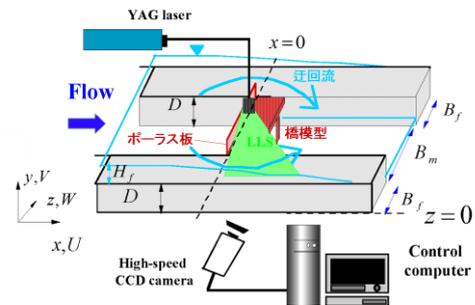


図-2 迂回氾濫流の鉛直面PIV計測

置位置は河道閉塞部より下流側($x>0$)とした。

また迂回流発生時の氾濫流速の水平分布について詳細に調べるために鉛直面(x-y面)PIVと水平面(x-z面)PIV計測法を導入した。図-2に示すようにx-y鉛直面PIVでは水路上方から3.0Wのアルゴンイオンレーザー(LLS)を照射し、水路側方に高速度カメラを設置し、フレームレート500Hz、サンプリングレート30Hzで60秒間撮影した。計測画像から鉛直面の時間平均流速(U, V)を算出した。表-1に水理条件を示す。ここで、流量をQ、流木投入前の低水路における断面平均流速を U_m 、流木投入前の低水路水深を H_m とした。

3. 実験結果

図-3はヨーイング角が0度の状態(流れの向きに平行)で1本の流木が家屋に衝突したときの左岸氾濫原家屋($x/B_m=0.0, 1.0, 2.0$)にかかる流体力F(N)の時

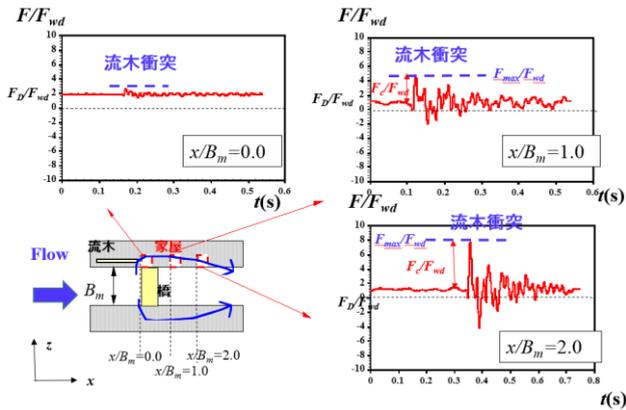


図-3 氾濫原家屋にかかる流木衝突力の時系列データ

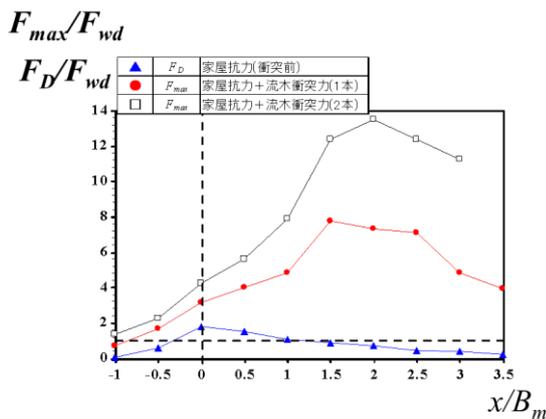


図-4 家屋への流木衝突力の流下方向変化

系列データを示す。値は木造家屋の破壊基準値 $F_{wd}:1.06\text{tf/m}^2$ で無次元化している。

流木衝突前には氾濫原家屋にはほぼ一定の流体力が作用しているが、これは迂回氾濫流から家屋が受ける抗力 F_D である。流木衝突時に家屋模型に作用する流体力は急激に増加し、鋭いピークをもつ。その後は振動しながら減少している。氾濫流から家屋が受ける抗力 F_D は橋梁上流 $x/B_m=0.0$ でピークを持つ。橋梁の下流側($x/B_m=1.0, 2.0$)で家屋が受ける抗力 F_D は減少しているが、流木衝突時の流体力のピーク値が流下方向に増加している。流木衝突により橋梁の下流側の領域でも家屋被害が大きくなると考えられる。

図-4 に流木が家屋に衝突したときの左岸氾濫原の家屋にかかる流体力の瞬間最大値の流下方向変化 F_{max} を示す。比較のため流木衝突前の家屋抗力 F_D を併示している。流木衝突を考慮すると家屋が受ける流体力 F_{max} は橋梁上流端($x/B_m=0.0$)ではなく橋梁の下流側 $x/B_m=2.0$ でピークをもっており、注目される。また、流木衝突力は橋梁の下流側 $x/B_m=2.0$ でピークをもっている。これは流木の移流速度が橋梁上

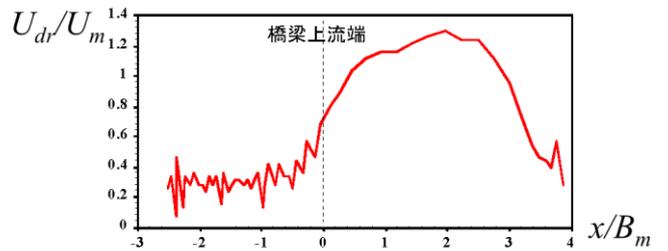


図-5 迂回流発生時の流木の移流速度の流下方向変化

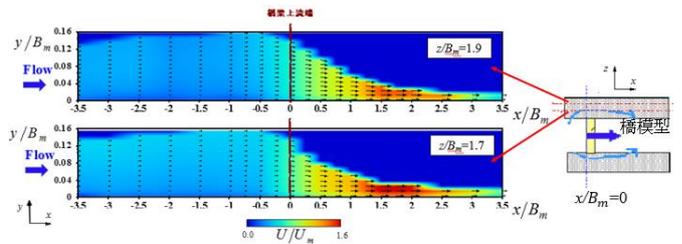


図-6 迂回流発生時の氾濫原流速の鉛直面コンター

流端 $x/B_m=0.0$ では小さく、橋梁部の下流側で流下方向に増加するためだと考えられる。 $x/B_m>2.0$ では流木衝突力が流下方向に減少している。

図-5 に流木の x 方向の移流速度の流下方向変化 $U_{dr}(x)$ を示す。流木の移流速度は流木中心位置のトラッキング追跡結果から算出した。

橋梁の上流側($x/B_m<0$)では流木の移流速度は小さく、ほぼ流下方向に変化しない。橋梁上流端($x/B_m=0.0$)で急激に増加し、橋梁の下流側では流木の移流速度は流下方向に増加している。これは迂回流の既往研究(岡本ら(2018))から橋梁上流端($x/B_m=0.0$)から迂回流の流速は流下方向に増加することと対応している。

図-6 に鉛直面 PIV 計測によって得られた迂回流発生時の氾濫流速 U の x - y 縦断面コンターを示す。橋梁の上流側($x/B_m=-3.5\sim-1.0$)では流速値が小さく、流速値は流下方向にほぼ一定である。橋梁近傍で迂回流が発生して、 $x/B_m=-1.0$ で氾濫流速が急激に増加している。橋梁の下流側($x/B_m=0.0\sim1.5$)では低水路に戻っているにもかかわらず、流速が流下方向に増加している。これは $x/B_m=0.0\sim1.5$ で氾濫流水深 H_f が流下方向に急激に減少しているためである。

参考文献

1)岡本隆明, 竹林洋史, 鈴木隆太, 山上路生, 戸田圭一(2018): 流木集積による橋梁閉塞と迂回流の氾濫流量に関する実験的研究, 自然災害科学, Vol. 36(4), pp.447-461.
 2)松富英夫, 首藤伸夫(1994): 津波の浸水深, 流速と家屋被害, 海岸工学論文集, Vol.41, pp.246-250.