

令和 3 年 5 月 21 日現在

機関番号：14301

研究種目：若手研究

研究期間：2018～2020

課題番号：18K13968

研究課題名(和文)ゲリラ豪雨時の流木閉塞による氾濫被害予測と科学的知見に基づく流木対策工法の提案

研究課題名(英文) Estimation of flood damage area due to driftwood blocking and debris retention system based on scientific knowledge

研究代表者

岡本 隆明 (Okamoto, Takaaki)

京都大学・工学研究科・助教

研究者番号：70599612

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,600,000円

研究成果の概要(和文)：流木による水害は毎年のように発生しているが、流木の移動や集積を制御する知見が不足しており、効果的な流木対策が実施されていない。そこで本研究では水理模型実験により流木の橋梁部での3次元集積メカニズムを調べた。流木の比重、初期水深を変化させて、水面から底面まで流木で全面閉塞する限界条件と支配パラメータを明らかにした。越流した迂回流をPIV計測し、洪水被害の大きくなる区域を評価した。さらに流木対策工として蛇行部での捕捉池による流木捕捉システムに関する実験的研究を行い、河川蛇行部での流木の挙動、捕捉池の開口部位置、側壁の透過度による流木捕捉率の変化について調べた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究ではまず流木集積実験から橋梁での河道閉塞率を評価した。閉塞率は全面閉塞して最大70%となった。河川氾濫を数値解析する上で流木の閉塞率の実験データはなく100%の閉塞率としているケースが多いため、非常に有用なデータが得られた。PIV計測から越流した迂回流の流量、流速分布を評価し、橋梁の上流側より下流側で流速が大きく氾濫被害が大きくなることがわかった。さらに流木被害を抑制するための対策として河川蛇行部を利用した流木捕捉工の実験を行った。流木を捕捉池部に誘導するのに適した開口部の位置、形状、捕捉池の側壁の形状・透過度を明らかにした。

研究成果の概要(英文)：Driftwood accumulates at a bridge, which lead to flooding. However, there is almost no detailed information to control the driftwood accumulation and driftwood transport. In this study, three kinds of flume experiments were performed. First, we conducted the accumulation tests to investigate the 3D accumulation at the model bridge. The experimental results revealed the critical condition for driftwood blocking. Second, we measured the floodplain flow by PIV to estimate the flood damage area.

Third, we considered the driftwood capturing structure using a bypass channel located at the outer river bend to remove woody debris. We investigated the trapping probability of driftwood in the bypass channel. To induce the model logs toward the bypass channel, we changed the entrance position of the bypass channel and the porosity of the side wall. The results indicated that the trapping probability is highly influenced by the velocity difference between the main channel and the bypass channel.

研究分野：防災水工学

キーワード：流木集積 橋梁閉塞 氾濫被害 蛇行水路 流木捕捉工

1. 研究開始当初の背景

近年、局所的・集中的な豪雨(ゲリラ豪雨)による水害が各地で頻発している。ゲリラ豪雨時には大量の流木が土砂とともに流出する。中小河川では流木が橋梁部で堰きとめられて河道が閉塞し、水位上昇を招き河川を氾濫させるのが常である。このような流木閉塞時に越流した氾濫流は非常に流速が大きく、短時間で家屋を基礎ごと流失させるなどの被害が報告されている(例：2012年宇治市志津川)。流木による水害は毎年のように発生しているが、流木の移動や集積をコントロールする知見が不足しており、効果的な流木対策が実施されていないのが現状である。そこで本研究では水理模型実験により流木の3次元集積メカニズム、氾濫流の挙動を調べる。さらに流木対策工として蛇行部での遊水池による流木捕捉システムに関する実験的研究を行い、科学的知見に基づいた効果的な流木対策工法を提案することを目的としてスタートした。

2. 研究の目的

流木被害を抑制するための対策としては川幅の拡張や流木捕捉工の設置などが挙げられる。しかしながら、十分な河積を有しない中小河川ではどちらの対応も困難な場合が多く、流木による水害に対して十分な対策ができていない。そこで本研究ではまず、流木投入実験を行い橋梁部での流木3次元集積メカニズムを明らかにする。さらに流木による橋梁閉塞後の氾濫水の挙動をPIV計測する。次に中小河川でも適用可能な流木対策工として河道を阻害しない流木対策工として蛇行部と遊水池を利用した流木捕捉システムに着目し、実験的研究を行う。

3. 研究の方法

3.1 橋梁の流木閉塞実験

図-1に橋梁閉塞実験装置図を示す。実験には長さ10m、幅40cm、高さ50cmの変可勾配水路を用いた。 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。 U, V および W は各方向における時間平均流速を示す。図-1に示すように氾濫原模型(塩ビ製)を左岸側に設置した。低水路幅は $B_m=0.2m$ 、氾濫原幅は $B_f=0.2m$ である。氾濫原高さは $D=0.1m$ で流下方向に一樣とした。橋梁模型(1/80スケール)は水路上流端から4.0mの位置に設置した。橋梁模型は橋長20cm、幅員5cm、幅1cmの橋脚部を2本有しており、橋脚間距離 B_R は6.0cmである。

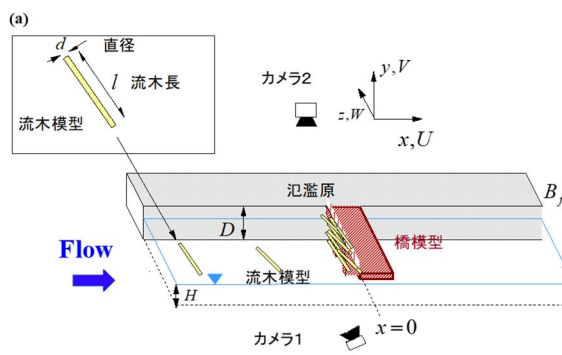


図-1 流木による橋梁閉塞実験

流木模型として木製円柱(直径 $d=6.0mm$ 、長さ $l=12cm$)を用いた。橋梁模型の4.0m上流から水路中央に10本ずつまとめて同時に投入した。各投入が終了するごとに橋模型の上流側5cmにおける水深を計測した。また流木捕捉時の橋梁部での河道閉塞率について調べるために、流木除去後に橋模型の前面に既知の遮蔽面積のポラス板(20cm×15cm、パンチ径3.0mm)を設置して橋模型の上流側の水深を計測した。流木閉塞時の水深と比較することで河道閉塞率 A_b/A を評価した。

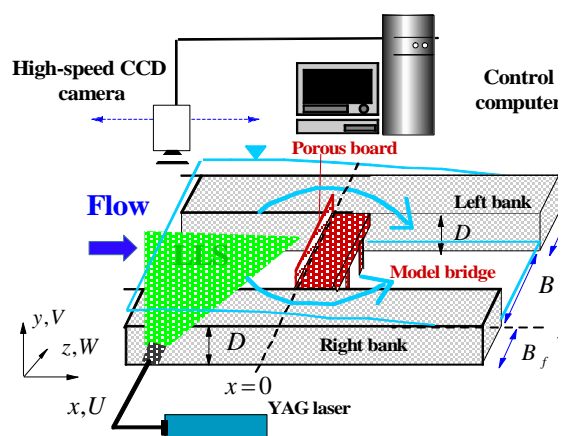


図-2 迂回氾濫流のPIV計測

3.2 迂回氾濫流のPIV計測

次に流木による橋梁閉塞時にどの程度の氾濫流量が氾濫原に流れ込むか詳細に調べるために鉛直面PIV($x-y$ 面)と水平面PIV($x-z$ 面)計測法を導入した。図-2に示すように橋模型の前面にアルミ製ポラス板を設置し、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。ポラス板の閉塞率 A_b/A は流木捕捉実験をもとに決定している。氾濫原模型を水路両側に設置した。低水路幅は $B_m=20cm$ 、左岸側と右岸側の氾濫原の幅は $B_f=10cm$ である。高速カメラとレーザーシートを移動させて迂回流を画像計測した。計測位置は $x=-0.7\sim 0.7m$ である。

3.3 蛇行河川捕捉池

流木災害を防ぐには流木流出時に河道内の流木を除去する必要がある。本研究では河川の蛇行部を利用して流木を捕捉する対策工について実験を行った。まず、蛇行部での流木の挙動を解明するために図-3に蛇行水路模型を示す。蛇行部における流木の挙動を解明するにあたり蛇行模型を作成した。水路幅を20cmで統一した。基本形状はsine-generated curveである。蛇行水路の全長は4m(1.5波長)、蛇行波長は2.6m、蛇行角は 60° とした。

流木投入実験では水路上流端から流木模型を10本ずつまとめて横断方向に均等になるように投入した。着水時の給木方向はランダムとなる。これを繰り返し行い、全80本の流木を投入した。流木模型として木製円柱(直径 $d=6.0\text{mm}$ 、長さ $l=6.0\text{cm}$ 、 $1/40$ スケール)、比重0.6を用いた。また流木の流れへの追従性について調べるために、水路上方に設置した高速カメラを用いて流木中心位置をトラッキング追跡し、流木の流下方向の移流速度を計測した。

次に蛇行河川の外側に設けた捕捉池での流木捕捉効果について調べるために図-4に蛇行水路と捕捉池模型を示す。実験水路は直線河川と蛇行河川部に分かれている。 $x=0\text{cm}$ は蛇行水路の上流端とした。水路全長は4m、蛇行水路の長さは2.6m、1波長、蛇行角は 60° とした。流木を捕捉するため図のように蛇行部の外側に捕捉池を設けた。外側の流木捕捉池は幅 $B_w=10\text{cm}$ とした。実河川で捕捉池内への土砂流入を防ぐことを想定して、捕捉池境界部には厚さ1cm、高さ1cmの板(越流型堰)を設置した。

流木捕捉効率を変化させるため捕捉池の開口部の位置を系統的に変化させている。本研究で用いた蛇行水路は捕捉池と主流域の境界部に側壁を立てることができ、捕捉池の形状を変化させることができる。流木投入実験では水路上流側($x=-60\text{cm}$)から流木模型を10本ずつまとめて直線部の水路中央に横断方向に均等になるように投入し、捕捉池で捕捉された流木の本数をカウントした。

4. 研究成果

4.1 流木集積による橋梁閉塞率の評価

図-5に橋梁前面での流木塊の形成過程の snapshots を示す。図-6に流木集積時のせき上げ水深 H と流木塊の下端高さ $y_{d,min}$ の変化を示す。流木集積の初期過程では鉛直高さ L_y が増加しており、先に橋脚で捕捉された流木が浮力によって水面から底面に向かって沈下するのが観察された(流木の沈下メカニズム(1))。流木が沈下すると流木塊による遮蔽面積が大きくなって、せき上げ水深が増加している。40本を超えると($n_d=40$)流木塊の鉛直方向長さ L_y と水深 H が一致しており($L_y=H$)、これは水面から底面まで流木で閉塞していることを示している。

流木が底面まで沈下してもせき上げ水深は増加し続けており、注目される。これは先に捕捉された流木が沈下して底面に到達すると、水面付近で流木塊が上流側に成長する。後続の流木の中には水表面の流木塊の下に潜りこみ橋脚前に集積するものがみられ、この流木の沈下メカニズム(2)によって底面側の流木塊の厚みが増して、流木塊の空隙を小さくするためと推測され

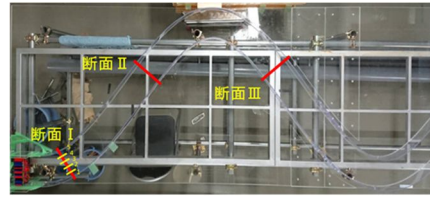


図-3 蛇行水路 (流木投入実験)

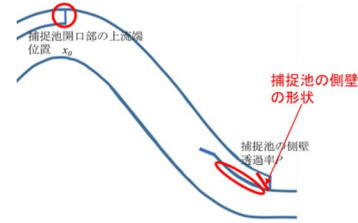


図-4 蛇行河川捕捉池による流木捕捉実験

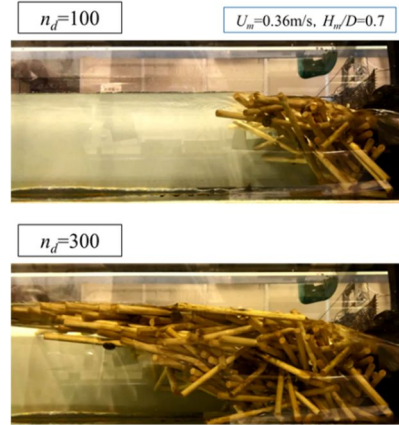


図-5 橋梁部での流木集積

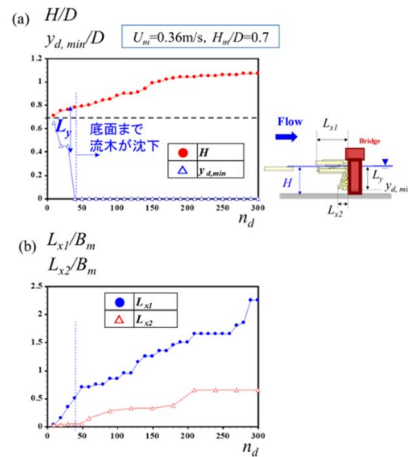


図-6 流木集積時の堰上げ水深の時間

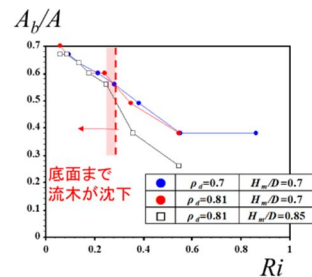


図-7 流木閉塞率のリチャードソン数による変化

によって底面側の流木塊の厚みが増して、流木塊の空隙を小さくするためと推測され

る.60本を超えると($n_d=60$),底面側の流木塊の厚さ L_{x2} が急激に増加している.投入本数200本を超えると($n_d=200$)せき上げ水深の増加は緩やかになり,堰上げ水深は一定値に達したと考えられる.

図-7に流木集積による河道閉塞率 A_b/A を示す.横軸は修正リチャードソン数である.流速が小さいケースでは流木が沈下していないので河道閉塞率は小さい.流速が小さいケースでは流木が水面付近にのみ堆積するため,水深が大きいケースほど河道閉塞率が小さくなっている.流木が沈下して底面まで流木閉塞すると,河道閉塞率は60%以上になる.流木塊の鉛直方向長さ L_{ymax} と水深 H_{max} が一致するとき,修正リチャードソン数が $Ri=0.24-0.28$ となった.修正リチャードソン数が $Ri=0.24-0.28$ より小さくなると流木が底面まで沈下し,河道閉塞率が急激に上昇している.本研究の初期水深,流速,流木比重を系統変化させた結果から全面閉塞する限界条件を評価することができた.図-8に流木捕捉時の橋脚前面の鉛直流速 V の鉛直面コンターを示す.流木捕捉前には水面付近では V の負値はみられない.流木が捕捉されることで流木下部に下降流が発生している.模式図のように後続の流木が先に捕捉された流木に乗り上げ,下降流によって流木が沈下していると考えられる.

4.2 迂回氾濫流の流速分布

河道閉塞率を $A_b/A=0.65$ として迂回氾濫流が発生したときの時間平均主流速 U の水平面コンターを図-9に示す.時間平均主流速 U の鉛直断面($x-y$ 平面)コンターを図-10に示す.水平面コンターから橋梁近傍で氾濫原に回り込む迂回氾濫流が発生している.橋梁より上流側は水深が大きく,流速が小さい.橋梁部より下流側で氾濫流速が急激に増加している.これは氾濫流水深が流下方向に減少しているためだと考えられる.これは2018年宍粟市で橋の下流側で河岸が浸食されていたことに対応する.

4.3 河川蛇行部での流木の挙動

捕捉池の無い蛇行河川模型(蛇行度60度)を用いて,蛇行河川による外岸への流木の誘導効果について調べた.図-11に $Q=5l/s$ での蛇行河川での流木挙動のスナップショットを示す.図-12には $Q=3, 5, 8l/s$ での蛇行河川での流木中心の軌跡を示す.図中には蛇行河川の中心線を併示している.

上流側から流れてきた流木は蛇行河川部に流入すると内岸寄りに流れている.湾曲部で大きく軌跡を変え,外岸寄りに流れ込んでいる.これは蛇行部で二次流が発生し,流木が遠心力の影響を受けているためである.

蛇行河川による外岸への流木の誘導効果を定量的に評価するために,流れ場を4cmごとの幅の領域に横断方向に分割し,流木の追跡結果から流木の中心が各領域を通過する通過率を評価した.図-13に蛇行河川の各位置(図-3断面,断面,断面)での流木の領域通過率のヒストグラムを示す.

投入直後の断面では蛇行河川の影響をまだあまり受けていないため,中央付近の領域で流木通過率が大きくなっている.蛇行河川に流入すると断面では内岸寄りの領域の流木本数が増加しており,流木は内岸寄りに流れている.これは断面と断面の間の領域では内岸側の流速が大きくなっているためだと考えられる.湾曲部では断面で外岸寄りの領域の流木本数が増加しており,流木は外岸寄りに流れている. $Q=8l/s$ のケースでは外岸寄りの領域(Region4-5)の通過率が55%,内岸寄りの領域(Region1-2)の通過率が15%であった.

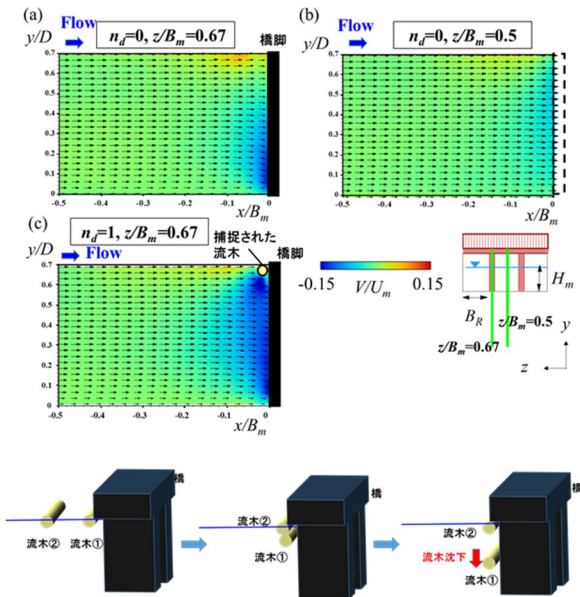


図-8 流木捕捉時の鉛直流速と沈下過程

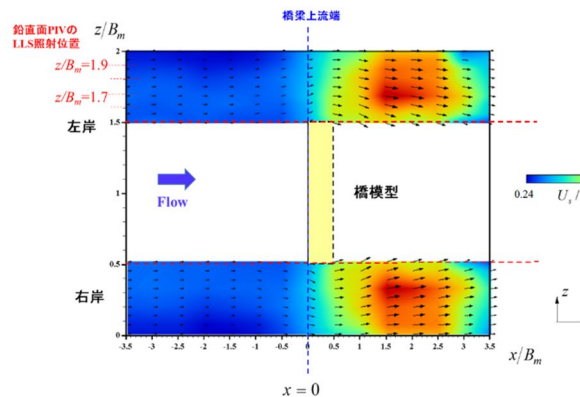


図-9 迂回氾濫流の主流速水平面コンター

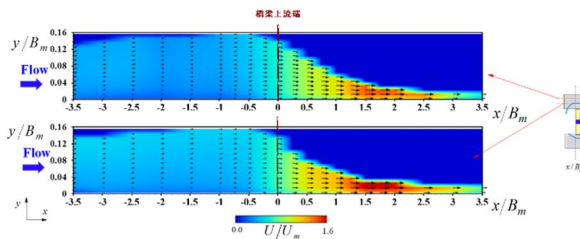


図-10 迂回氾濫流の主流速鉛直面コンター

図-12には $Q=3, 5, 8l/s$ での蛇行河川での流木中心の軌跡を示す.図中には蛇行河川の中心線を併示している.

上流側から流れてきた流木は蛇行河川部に流入すると内岸寄りに流れている.湾曲部で大きく軌跡を変え,外岸寄りに流れ込んでいる.これは蛇行部で二次流が発生し,流木が遠心力の影響を受けているためである.

蛇行河川による外岸への流木の誘導効果を定量的に評価するために,流れ場を4cmごとの幅の領域に横断方向に分割し,流木の追跡結果から流木の中心が各領域を通過する通過率を評価した.図-13に蛇行河川の各位置(図-3断面,断面,断面)での流木の領域通過率のヒストグラムを示す.

投入直後の断面では蛇行河川の影響をまだあまり受けていないため,中央付近の領域で流木通過率が大きくなっている.蛇行河川に流入すると断面では内岸寄りの領域の流木本数が増加しており,流木は内岸寄りに流れている.これは断面と断面の間の領域では内岸側の流速が大きくなっているためだと考えられる.湾曲部では断面で外岸寄りの領域の流木本数が増加しており,流木は外岸寄りに流れている. $Q=8l/s$ のケースでは外岸寄りの領域(Region4-5)の通過率が55%,内岸寄りの領域(Region1-2)の通過率が15%であった.

4.4 蛇行水路の流木捕捉池

蛇行水路の外側に捕捉池を設け、流木を誘導して捕捉することを試みる。図-14に蛇行河川の捕捉池での流木挙動のスナップショットと流木中心の軌跡を示す。前節で考察したように蛇行部の外側に捕捉池を設けると上流側開口部で外岸側に誘導され、捕捉池に流木が入り込んでいる。

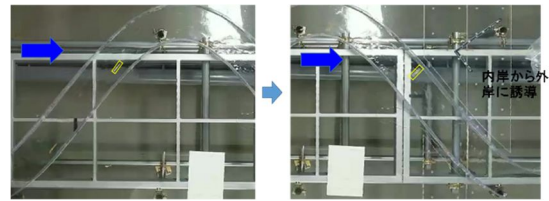


図-11 河川蛇行部での流木の挙動

捕捉池の形状による流木捕捉効果の違いについて考察する。まず Step1 として図-15のように捕捉池の開口部の上流端位置を x_0 として蛇行カーブの頂点より上流側と下流側に变化させた。開口部の上流端位置 x_0 を蛇行カーブの頂点にすると $P_b=34.6\%$ となった。蛇行カーブの頂点から 10cm 下流側にすると流木捕捉率は増加し $P_b=37.5\%$ で最も大きくなる。Step2 として図-16のように流木捕捉池の側壁の透過度を変化させ、流木捕捉率を評価した。捕捉池側壁の上流から下流まで不透過にしたケースでは流木は捕捉池にほとんど入り込まなかった $P_b=1.4\%$ 。捕捉池側壁のスリット状にして透過にした(側壁部の透過度 $P=25.6\%$) ケースでは流木は捕捉池に入り込むようになった $P_b=34.6\%$ 。側壁部の透過度を大きくすると ($P=38.17\%$)、流木捕捉効率はさらに上昇した $P_b=56.4\%$ 。捕捉池の側壁部の透過度をさらに大きくすると捕捉した流木が再度流出することも考えられ、今後さらに詳細に検討していく。Step3 として捕捉池の出口部の側壁の形状を変化させた。図-4のように隅切りを設けて垂直より斜めにする事で捕捉池内の流速が大きくなり、捕捉率が増加した。

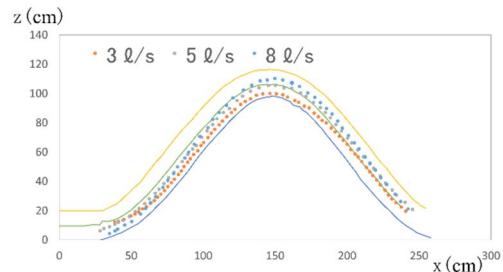


図-12 河川蛇行部での流木の中心軌跡

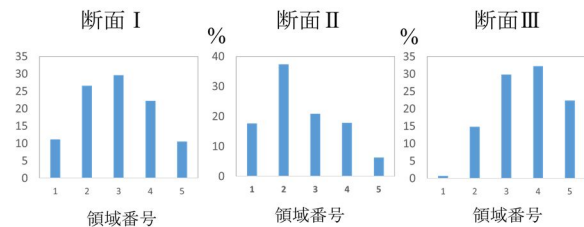


図-13 河川蛇行部での流木の領域通過率

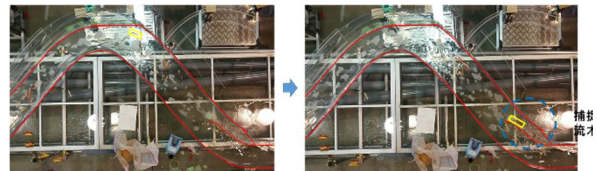


図-14 蛇行河川捕捉池での流木捕捉

- 1) 岡本隆明・山上路生・角哲也・佐山敬洋：2018年7月西日本豪雨における宍粟市の流木被害調査報告, 自然災害科学, Vol.38, pp.365-376, 2019
- 2) Okamoto T, Takebayashi H, Sanjou M, Suzuki R, Toda K (2020) Log jam formation at bridges and the effect on floodplain flow: a flume experiment. *J Flood Risk Management*, 13 (Suppl. 1): e12562.
- 3) 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, Vol.39(4), pp.423-437, 2021

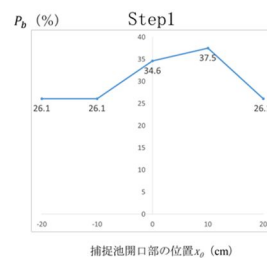


図-15 流木捕捉率の変化(開口部の位置)

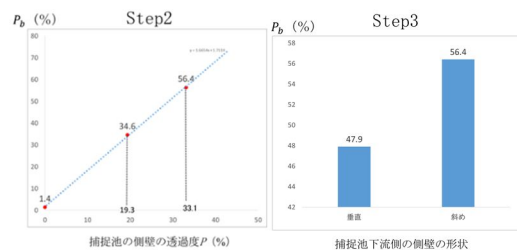


図-16 流木捕捉率の変化(側壁の透過度)

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計3件（うち査読付論文 3件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 岡本隆明・山上路生・角哲也・佐山敬洋	4. 巻 38
2. 論文標題 2018年7月西日本豪雨における宍粟市の流木被害調査報告	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 自然災害科学	6. 最初と最後の頁 365-376
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

1. 著者名 Okamoto, T., Takebayashi, H., Sanjou, M., Suzuki, R. & Toda, K.	4. 巻 13
2. 論文標題 Log jam formation at bridges and the effect on floodplain flow: a flume experiment	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 J. of Flood Risk Management	6. 最初と最後の頁 e12562
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 岡本隆明・染谷智紘・松本知将・山上路生・田中健太	4. 巻 39
2. 論文標題 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	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 自然災害科学	6. 最初と最後の頁 423-437
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計11件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 1件）

1. 発表者名 岡本隆明・染谷智紘・松本知将・山上路生・田中健太
2. 発表標題 流木による河道全面閉塞の限界条件と流木沈下メカニズムに関する研究
3. 学会等名 京都大学防災研究所 研究発表講演会（2021.2 オンライン発表）
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Takaaki Okamoto, Tomoya Someya, Michio Sanjou
2. 発表標題 Flume study on driftwood jam and flood damage to house around a bridge
3. 学会等名 Proc. of Riverflow2020 Congress, Delft(Online)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Takaaki Okamoto, Michio Sanjou
2. 発表標題 Flume study on driftwood capturing system using rectangular embayment zone
3. 学会等名 Proc. of 22nd IAHR APD conference, Sapporo(Online)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 染谷智紘・岡本隆明・戸田圭一
2. 発表標題 河道閉塞時の流木の家屋への衝突力評価に関する実験的研究
3. 学会等名 2019年度 土木学会関西支部 年次学術講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 岡本隆明・染谷智紘・檀原義信・戸田圭一
2. 発表標題 流木集積による橋梁閉塞と家屋被害に関する実験的研究
3. 学会等名 令和元年度全国大会 第74回年次学術講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 岡本隆明・染谷智紘・田中健太・山上路生・松本知将
2. 発表標題 1 ピア橋梁での流木集積と河道閉塞率の定量評価に関する実験的研究
3. 学会等名 令和元年度 京都大学防災研究所 研究発表講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 岡本 隆明・竹林 洋史・山上 路生・戸田 圭一
2. 発表標題 流木集積による橋梁閉塞と迂回流による氾濫被害に関する実験的研究
3. 学会等名 第37回日本自然災害学会学術講演会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 岡本 隆明
2. 発表標題 流木集積による橋梁閉塞と迂回流による氾濫被害
3. 学会等名 基礎水理シンポジウム2018
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 岡本 隆明・山上 路生・角哲也・佐山敬洋
2. 発表標題 西日本豪雨における宍粟市の流木被害
3. 学会等名 平成30年度 京都大学防災研究所 研究発表講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 山上路生・岡本隆明
2. 発表標題 流木の挙動安定性と橋梁閉塞の関係に関する研究
3. 学会等名 平成30年度 京都大学防災研究所 研究発表講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Takaaki Okamoto,, Michio Sanjou and Yoshinobu Kashihara
2. 発表標題 Driftwood Capturing Structure using Anti-flood Pond and Groyne
3. 学会等名 Proc. of Annual Conference on Engineering and Applied Science, Osaka (国際学会)
4. 発表年 2018年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関