

令和 6 年 6 月 10 日現在

機関番号：12201

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2021～2023

課題番号：21K04268

研究課題名(和文)大規模出水時の急流蛇行河川における連鎖的な堤防決壊とその減勢に関する研究

研究課題名(英文) Study on levee breach and mitigation caused by the remerging flood flow in a rapid meandering river

研究代表者

飯村 耕介 (IIMURA, KOSUKE)

宇都宮大学・地域デザイン科学部・准教授

研究者番号：30642128

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,100,000円

研究成果の概要(和文)：令和元年東日本台風により栃木県の中小河川の13河川27か所において決壊が発生し、蛇行河川では氾濫流が堤内地から河道側に戻る地点やその対岸の堤防で連鎖的に決壊が生じた様子も確認された。氾濫戻りが生じる地点の対岸流況に対して合流条件や地形的特徴、植生の影響を明らかにするために模型実験および数値解析を実施した。下流側開口部幅が狭いほど、開口部から早い流速で蛇行河道へと戻る流れが生じ、大きく曲がりながら開口部側に流れが向かうものの、対岸側にも流速の速い領域が広がること、また蛇行河道が狭いほど氾濫原へと流れる流量が増し、その流れが開口部へと集中し、開口部の対岸側に広く高流速域が形成されることを確認した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

中小蛇行河川において生じた氾濫流の戻り流れによる連鎖的な決壊現象に関して、下流側開口部の幅が戻り流れの対岸流況へと与える影響を明らかにし、下流側開口部から早い流速で蛇行河道へと戻る流れが生じ、対岸にも流速の速い領域が広がるように流れることを示した。那珂川水系荒川の決壊例を見ると、本研究結果のように対岸に高速域が生じ、侵食決壊へと至った可能性が大いに考えられ、中小蛇行河川における戻り流れの危険性を示した。

研究成果の概要(英文)：Typhoon Hagibis in 2019 caused levee breach at 27 locations in 13 small and medium-sized rivers in Tochigi Prefecture. In meandering rivers, the remerging flood flow may have contributed to the collapse of the opposite bank. Experiments and numerical analyses were conducted to clarify these effects. The narrower the opening width at the point where the remerging flood flow occurs, the greater the flow velocity of the remerging flood flow. It was confirmed that this flow causes an area of high flow velocity to spread to the opposite bank. It was also confirmed that the narrower the meandering river channel, the greater the flow rate through the floodplain, and a wide area of high flow velocity was formed on the opposite bank of the opening.

研究分野：河川工学

キーワード：令和元年東日本台風 那珂川水系荒川 中小蛇行河川 氾濫 氾濫戻り流れ

1. 研究開始当初の背景

令和元年台風19号による河川の被害として、栃木県が管理する中小河川では13河川27か所で決壊が発生し、浸水被害が発生した。決壊状況として、1つの河川において複数箇所が決壊が生じており、さらに1~2kmの狭い範囲で複数箇所の溢水・決壊も見られた。それぞれの地点の決壊が河川の流れによって単独で決壊しているのではなく、上流側で起きた決壊による氾濫流が、下流側で河道に戻るように堤防を逆越流し、その地点でも決壊を引き起こしている状況を確認できた。更には逆越流した箇所の対岸側へも影響を与え、決壊を引き起こしたとみられる場所も確認された。氾濫流に関する既往の研究事例として、越水や堤防決壊によって市街地や水田等に氾濫した洪水流の挙動に関する研究は数多く行われている。氾濫流が河道へ逆越流する現象については、北海道の空知川における被害調査や、道路などの市街地構造による検証が行われているが、逆越流した後の河川流況に与える影響に関する研究や、逆越流した流れが対岸の決壊を引き起こしたという被災事例報告はない。2019年に発生した中小河川における連鎖的な決壊現象を解明するためには、逆越流した後の流れが河川流や対岸側の堤防に与えた影響について調査することが非常に重要となる。

2. 研究の目的

令和元年台風19号の被災状況から確認された中小河川における連鎖的な決壊・氾濫現象に着目し、氾濫流が河道へ戻るときの逆越流が河道内流況へ与える影響と、対岸の堤防決壊へ及ぼす影響について明らかにすることを本研究の目的とする。被災後の現地調査から、中小河川において逆越流、およびその対岸まで連鎖的に決壊した要因として大きな蛇行河道であることや川幅が狭いなどの河道形状の影響や、河道からの氾濫流を減勢する水害防備林が逆越流に対して流れを阻み、局所的に流れを加速させたと思われる点に関して調査する。河道への逆越流や、逆越流が対岸の決壊に及ぼす影響を明らかにすることで、急流河川におけるより正確な洪水氾濫リスクの把握と、今後の防災・減災対策を考える際の重要な知見となる。

3. 研究の方法

(1) 水理模型実験の方法

令和元年東日本台風により被災した栃木県内の中小河川を対象に決壊による氾濫流の流下と河道への戻り流れを再現した実験を実施し、合流後の河道内流況への影響について検討した。実験水路の概要を図-1に示す。実験に用いた開水路は全長800cm、水路幅50cmで、開水路内に蛇行河道の模型を設置して実施した。蛇行河道形状は、sine-generated curveを用いて決定し、栃木県内の被災箇所の中で河道へと逆越流した河川として、那珂川水系荒川の蛇行度1.60と、利根川水系永野川の蛇行度1.19を参考とし、開水路幅50cmで再現できる蛇行度として1.2、1.35、1.5の3ケースを設定して蛇行河道を実験水路内に再現した。蛇行水路の側壁は1mm厚の塩ビ板を用いて作成し、低水路と氾濫原の比高差を再現するために堤内地側はモルタルを打設して2cmだけ底面の高さをかさ上げしている。開水路の谷線軸方向の水路勾配を1/200とし、蛇行河道の河道幅は15cmとした。蛇行河道は6波長分を開水路内に作成し、上流側と下流側に直線部を設け、下流から3波長目を詳細測定区間として蛇行河道側壁を切り取って決壊を再現し、堤内地側への氾濫流を発生させた。上流側の決壊幅については3波長目の上流端から1/8波長分だけ下流側を起点として、下流側の決壊幅については3波長目の下流端から1/8波長分だけ上流側を起点として決壊幅を設けた。水深はポイントゲージを用いて、蛇行河道の横断方向に5点、流下方向には蛇行の1/8波長おきを基本とし、詳細測定区間においては上流側・下流側に設けた決壊地点付近で1/32波長おきに測定断面を設けた。堤内地に関しては5cm間隔で測定点を設けた。流速は電磁流速計を用いて水深と同じポイントで、鉛直方向には1点法で測定した。

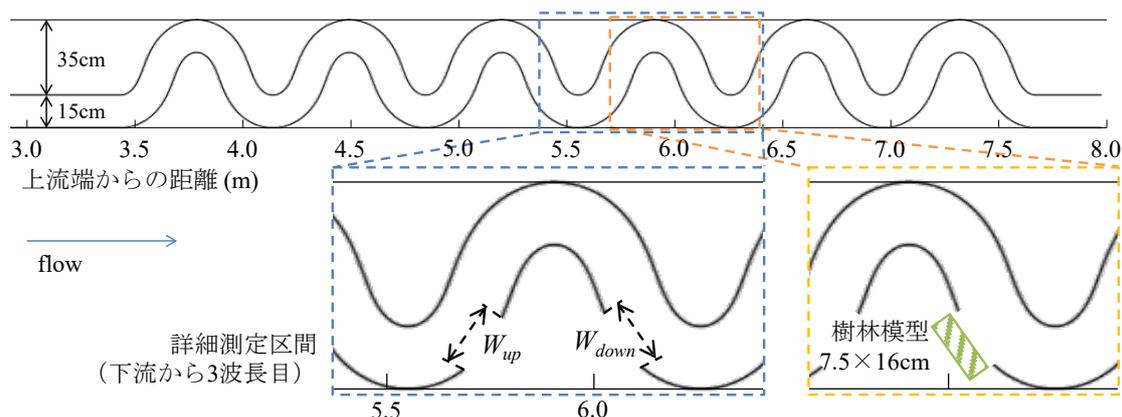


図-1 蛇行河道形状の概要

また、下流側の堤防に沿った堤内地側に存在する樹林帯が戻り流れと合流後の河道内流況に与える影響についても着目し、樹林模型を配置した実験により検討した。主な対象地域である那珂川水系荒川の合流地点に繁茂していたのは竹林であり、その密生度を対象地域の密生度 (0.11m^{-1}) と一般的な竹林の密生度 (0.25m^{-1}) をそれぞれ求めて設定した。竹林以外の河道内樹木として一般的なカワヤナギの密生度を比較対象 (密生度 0.02m^{-1}) としてケースに加えて実験を実施した。樹木模型は円柱として再現し、2mm のアクリル棒を用いて各密生度を再現した。

(2) 数値解析条件および方法

実験と同様に対象地域をモデル化した蛇行河道に対して、i-RIC Nays2DH を用いた解析を実施し、基本的な平面流況の把握を行った。解析においては実験と同様の水路条件で流れの再現性を確認するとともに、下流開口部幅や蛇行河道幅を変化させたときの河道内流況への影響を評価する。蛇行河道の条件として、蛇行度、最大偏角および勾配は実験と同様にそれぞれ 1.5、 60° 、1/200 として設定し、蛇行河道幅を荒川の決壊地点付近の幅を参考に 60、90、120m の 3 ケースとした。計算格子は蛇行河道を横断方向に 15 分割できる幅としてそれぞれ 4、6、8m 四方の直交格子とした。粗度係数は蛇行河道を礫床河床の一般値として 0.035、氾濫原は収穫前の水田地帯として 0.08 とした。上流側決壊幅 (W_{up}) は現地の決壊幅と同じ 260m、下流開口部幅 (W_{down}) は現地と同じ 30m と、現地下流側の越流幅が上流決壊幅と同程度であったことからそれらを参考に 30m、80m、130m、260m の 4 ケースを設定した。

実験と解析条件の一覧を表-1 に示す。

表-1 実験・解析条件一覧

Case No.	実験 解析	蛇行度	蛇行 河道幅 (m)	上流側 決壊幅 W_{up} (m)	下流側 決壊幅 W_{down} (m)	植生有無	植生 密生度 (m^{-1})
E-1-0	実験	1.5	0.15	0.00	0.00	なし	0.00
E-1-1		1.5		0.075	0.15	なし	0.00
E-1-2		1.5		0.15	0.15	なし	0.00
E-1-2D		1.5		0.15	0.15	あり	0.25
E-1-2M		1.5		0.15	0.15	あり	0.11
E-1-2S		1.5		0.15	0.15	あり	0.02
E-1-3		1.5		0.225	0.15	なし	0.00
E-2-2		1.35		0.15	0.15	なし	0.00
E-3-2		1.2		0.15	0.15	なし	0.00
N-0-0	解析	1.5	0.15	0.00	0.15	なし	0.00
N-0-1			0.15	0.15	0.15		
N-1-1			60	260	30		
N-2-1			90	260	30		
N-2-2			90	260	80		
N-2-3			90	260	130		
N-2-4			90	260	260		
N-3-1			120	260	30		

4. 研究成果

(1) 水理模型実験における平面流況結果

詳細測定区間の水深コンターと平均流速ベクトルをまとめた平面流況を図-2 にそれぞれ示す。縦軸と横軸はそれぞれ開水路幅と 1 波長分の縦断距離で除して無次元化している。蛇行河道の決壊を再現し、氾濫流を発生させることで、流れが蛇行河道と堤内地に分かれて流れるため、蛇行河道内の水深は決壊がない場合に比べて小さくなることが確認できた。一方、上流側決壊幅を大きくしても蛇行河道内の水深に大きな変化は見られなかった。また、堤内地の氾濫流の流況を見ると、上流側決壊幅が下流に対して狭い場合はほぼ直線的に堤内地を氾濫流が流下するのに対して、上流側の決壊幅が広がると蛇行河道の方に寄った流れになることが確認できた。蛇行度を変化させた実験では、蛇行度が小さいケースではより蛇行河道内の水深が小さくなっているのを確認できた。模型における蛇行河道 1 波長分の縦断距離は蛇行度 1.5 と比較して蛇行度 1.35 では 1.2 倍ほど長く、堤内地の面積も蛇行度 1.35 の方が大きい。これにより堤内地により多くの水を貯留できるため蛇行河道内の水深が小さくなる一方で、合流後の蛇行河道内の流速は蛇行度 1.5 のものよりも大きくなっていった。植生帯を設置した実験では、植生帯が抵抗として氾濫流が堤内地から河道へと戻る流れを阻害するため、植生帯を配置しないケースに比べて下流側決壊よりも上流側の蛇行河道内の水深が大きくなり、特に植生の密生度が大きくなる、つまり樹林帯の抵抗が大きくなるほどこの傾向が大きくなっていく。一方で、下流側決壊よりも下流

の蛇行河道内では植生帯を設置しないケースと水深に関してはそれほど大きな差は見られなかった。いずれの流れにおいても堤内地の右岸側に時計回りの渦が形成されているが、樹林帯を配置したケースでは樹林帯に阻害された流れが右岸を向いて流れるため、形成された渦の大きさが樹林帯を設置しないケースに比べて小さくなっている。

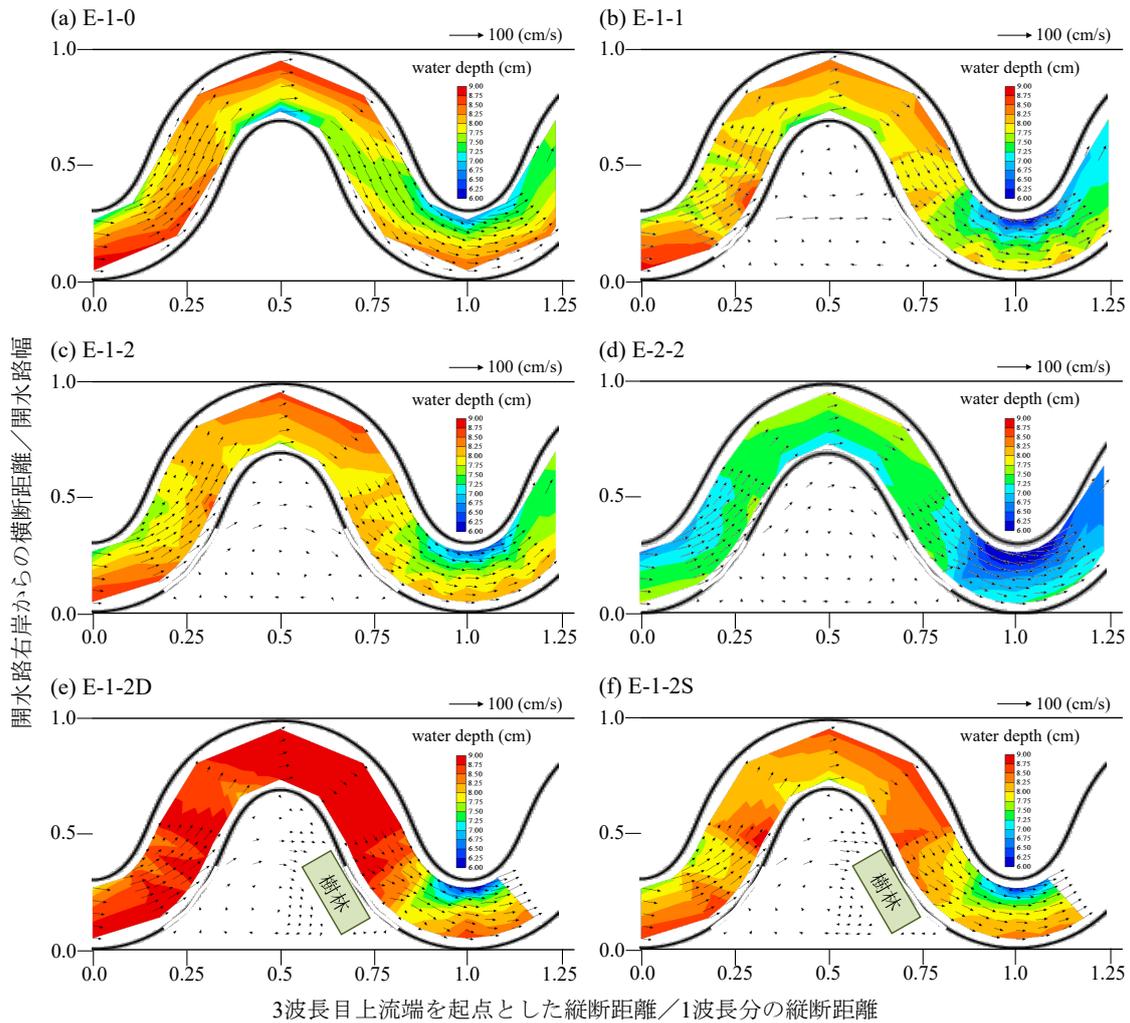


図-2 実験における平面流況比較

(2) 数値解析における下流側開口部幅が河道内流況に与える影響

下流側開口部幅を変化させたときの戻り流れによる蛇行河道流況への影響を評価するために数値解析を実施した。図-3 に平面流況の結果について示す。下流側開口部幅が一番狭いケースでは、開口部から早い流速で蛇行河道へと戻る流れが生じ、大きく曲がりながら右岸側に流速 6m/s 以上の高速域が生じているのとともに対岸の左岸側にも高速域が広がっている様子が確認できる。この高速域は下流側開口部幅が広がるほど狭くなっていくことが確認できるが、下流側開口部幅が 130m のケースまでは対岸側に高速域が生じていることが確認できる。また、戻り流れの流速が大きくなっている下流側開口部の下流端付近における堤内地側と河道側の水位差を見ると、下流側開口部幅が狭い順にそれぞれ約 2.5, 0.9, 0.7, 0.5m となっており、開口部幅が狭いと水位差も大きくなっている。下流側開口部の対岸である左岸に沿った流速分布について図-4 に示す。Case N-2-1 は他ケースよりも蛇行河道を流れる流量が多いため、他ケースに比べて開口部間 ($x/L=0.2\sim0.8$) の蛇行河道内の流速が大きくなっている。また下流側開口部の対岸付近の流速は図-3 で示した結果と同様に下流側開口部幅が狭いほどピークの流速が大きくなることを確認した。

(3) 数値解析における蛇行河道幅が河道内流況に与える影響

蛇行河道幅を変化させたときの戻り流れによる蛇行河道流況への影響を評価するために数値解析を実施した。図-5 に下流側開口部の対岸である左岸に沿った流速分布について、図-6 に平面流況の結果についてそれぞれ示している。平面流況を確認すると、蛇行河道幅が狭いほど戻り流れによる流速の高速域が広く広がり、左岸側にも広く影響を与える様子が見取れる。一方、蛇行河道幅が一番広いケースでは、流速 6m/s 以上の領域は対岸の左岸側には見られず、戻り流

れが生じる地点より大きく曲がりながら右岸側に寄っていく様子が見られたが、流速 5m/s 以上 (6m/s 未満) の領域が対岸側に広がっていることが確認できる。蛇行河道が狭いケースでは、蛇行河道を洪水流が流れづらく、氾濫原へと流れる流量が増し、下流開口部幅は各ケース同じなので、戻り流れの単位幅流量で見ると他のケースに比べて2.5割程度大きくなることを確認した。下流側開口部の対岸側である左岸沿いの流速分布をみると、流速が一番大きく出ているのは蛇行河道幅 90m であるが、ピークの地点からその下流にかけて大きな流速域が広がっていたのは蛇行河道幅 60m であった。上流と下流の開口部間 ($x/L = 0.2 \sim 0.8$) の蛇行河道内の流速は逆の傾向を示しており、蛇行河道幅が一番狭いケースにおいて流速が一番低くなっている。これは河道幅が狭い影響で前述した氾濫原を流れる流量が増加し、蛇行河道内を流れる流量が他ケースより少ないことと、戻り流れが河道横断方向に流れ込むことでその上流側の蛇行河道内の流れを阻害し、蛇行河道内水深が増加した影響と考えられる。

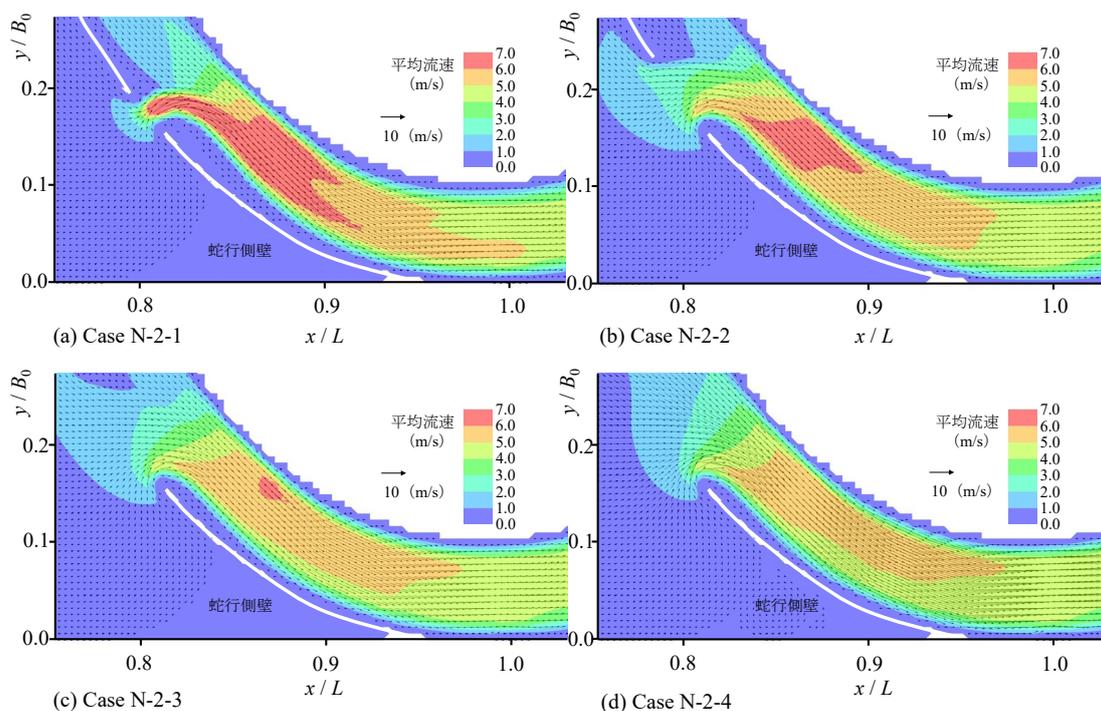


図-3 平面流況に対する下流開口部幅の影響

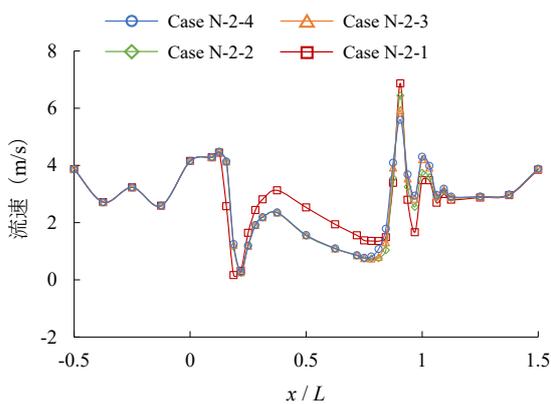


図-4 左岸流速に対する下流開口部幅の影響

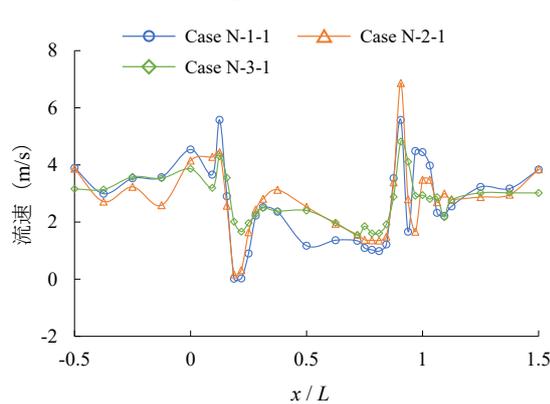


図-5 左岸流速に対する蛇行河道幅の影響

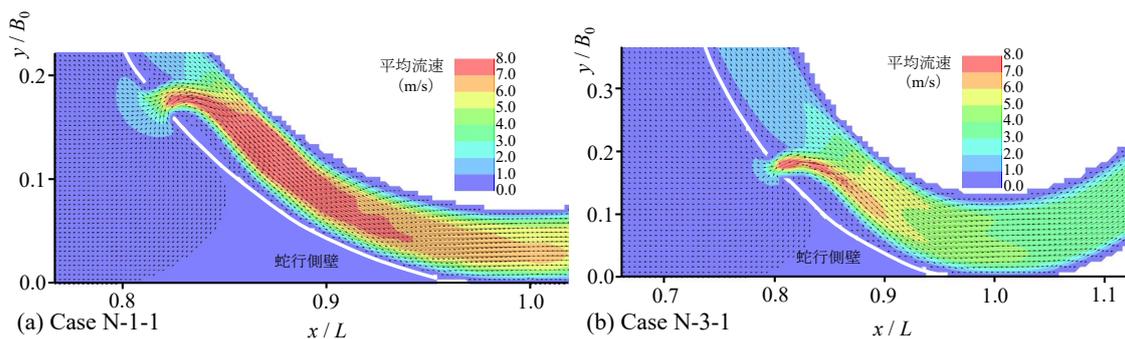


図-6 平面流況に対する蛇行河道幅の影響

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計2件（うち査読付論文 1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 飯村耕介, 高橋瑞貴, 寺崎裕人, 池田裕一	4. 巻 30
2. 論文標題 中小蛇行河川における氾濫戻り流れが対岸の河道内流況に与える影響に関する基礎的研究	5. 発行年 2024年
3. 雑誌名 河川技術論文集	6. 最初と最後の頁 (印刷中)
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 飯村耕介, 浅沼信也, 杉山健斗, 池田裕一	4. 巻 51
2. 論文標題 中小河川における氾濫流の戻り流れに対する 堤内地の植生管理の影響に関する基礎的研究	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 第51回環境システム研究論文発表会講演集	6. 最初と最後の頁 pp.181-186
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 無
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5件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 高橋瑞貴, 飯村耕介, 池田裕一, 寺崎裕人
2. 発表標題 蛇行河川の河道内流況に氾濫流の河道への戻り流れが与える影響に関する基礎的解析
3. 学会等名 土木学会関東支部技術研究発表会
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 寺崎裕人, 飯村耕介, 池田裕一, 高橋瑞貴
2. 発表標題 氾濫流の戻り流れにおいて合流部開口部幅が河道内流況に及ぼす影響に関する実験的検討
3. 学会等名 土木学会関東支部技術研究発表会
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 浅沼信也, 飯村耕介, 池田裕一, 杉山健斗
2. 発表標題 蛇行河川における連鎖的な決壊による氾濫流の戻り流れが河道内流況に与える基礎的実験
3. 学会等名 土木学会関東支部技術研究発表会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 杉山健斗, 飯村耕介, 池田裕一, 浅沼信也
2. 発表標題 蛇行河川における外水氾濫の戻り流れと河道内流況に堤内地植生が与える影響に関する基礎的実験
3. 学会等名 土木学会関東支部技術研究発表会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 井上魁人, 飯村耕介, 池田裕一
2. 発表標題 RTK搭載型UAVを活用した標定点レス写真測量による中小河川の地形把握手法の検討
3. 学会等名 土木学会関東支部技術研究発表会
4. 発表年 2022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
---------	---------