

蛇行河川における氾濫戻り流れによる対岸決壊が流況に与える影響に関する基礎的実験

飯村耕介, 掛谷諄, 友野直樹, 池田裕一

研究背景

令和元年東日本台風では栃木県内の多くの中小河川が決壊した、特に蛇行の大きな河川においては氾濫流が河道に戻る地点や対岸堤防でも決壊が生じるなど、連鎖的な被害が確認された。

那珂川水系荒川の決壊事例（**図-1**）では、藤田橋下流の決壊によってできた氾濫流が農業用水路と河道の合流点にある幅約30mの開口部から河道へ戻り、その高速流が水衝部となった対岸堤防を決壊させた。既往の研究では、河道形状や流量比が氾濫戻り流れ合流後の流況に与える影響について実験や数値解析が行われているが、いずれも対岸側の決壊は考慮されていない。そのため、氾濫戻り流れに起因する対岸決壊の進行が、河道内および氾濫原の流況に与える影響は未解明である。また、対象の荒川においては対岸決壊部に落堀が確認できず、決壊は浸食によって進行したとみられ、決壊幅350mに至る過程の流れの変化を調査する必要がある。

研究目的

本研究では、氾濫戻り流れによる対岸の浸食が段階的に生じた過程に着目し、対岸の決壊幅を段階的に変化させた際、合流地点から対岸側へ向かう流況がどのように変化するか水理模型実験により明らかにする。

実験方法

那珂川水系荒川をモデル化した水理模型実験を実施した。全長800cm、幅50cm、勾配1/200の開水路内に、河道幅10.0cmとなる蛇行河道模型を設置した。蛇行河道と氾濫原の境界には1mm厚の透明アクリル板を用い、比高差は設けていない。蛇行形状は、藤田橋付近の空中写真から算出した数値を基に、蛇行度1.5、最大偏角69.3°のsine-generated curveとした。河道と氾濫原には別々のポンプから水を汲み上げることで個別の流量を設定した。氾濫原からの流れが河道へ戻る開口部 W_{up} の幅は3.5cmとし、対岸決壊に伴い氾濫した流れが再び河道へと戻る下流側の開口部 W_{down} の幅は12.5cmとした。（**図-2**）

水深はポイントゲージを用いて測定し、流速はI型プローブの電磁流速計を用いて水深と同じ測定点で、鉛直方向には1点法により測定した。流下方向の測定断面は、戻り流れが合流する際の流況を詳細に調べるため、開口部 W_{up} から1/2波長目までは1/32波長おきとし、それ以外の区間は1/8波長おきとした。各測定断面では横断方向に5点測定した。

流れは定常状態とし、対象地域の観測所の流量をもとに縮尺を約1/100とし、河道流量 q_1 と氾濫原流量 q_2 の合計が2100cm³/sとなるように設定した。本実験では、戻り流れによる対岸堤防の決壊幅 W を段階的に変化させており、被災時の様子を参考に未決壊の0.0cmから最大幅15.0cmまでの4ケースを設定し、各条件における流況を検討した。

（**表-1**）



図-1 那珂川水系荒川の藤田橋付近における決壊の様子

表-1 実験条件一覧

Case No.	決壊幅 W (cm)	蛇行河川流量 q_1 (cm ³ /s)	氾濫原流量 q_2 (cm ³ /s)
Case 0-1	0.0	1700	400
Case 0-2	0.0	1300	800
Case 0-3	0.0	800	1300
Case 5-1	5.0	1700	400
Case 5-2	5.0	1300	800
Case 5-3	5.0	800	1300
Case 10-1	10.0	1700	400
Case 10-2	10.0	1300	800
Case 10-3	10.0	800	1300
Case 15-1	15.0	1700	400
Case 15-2	15.0	1300	800
Case 15-3	15.0	800	1300

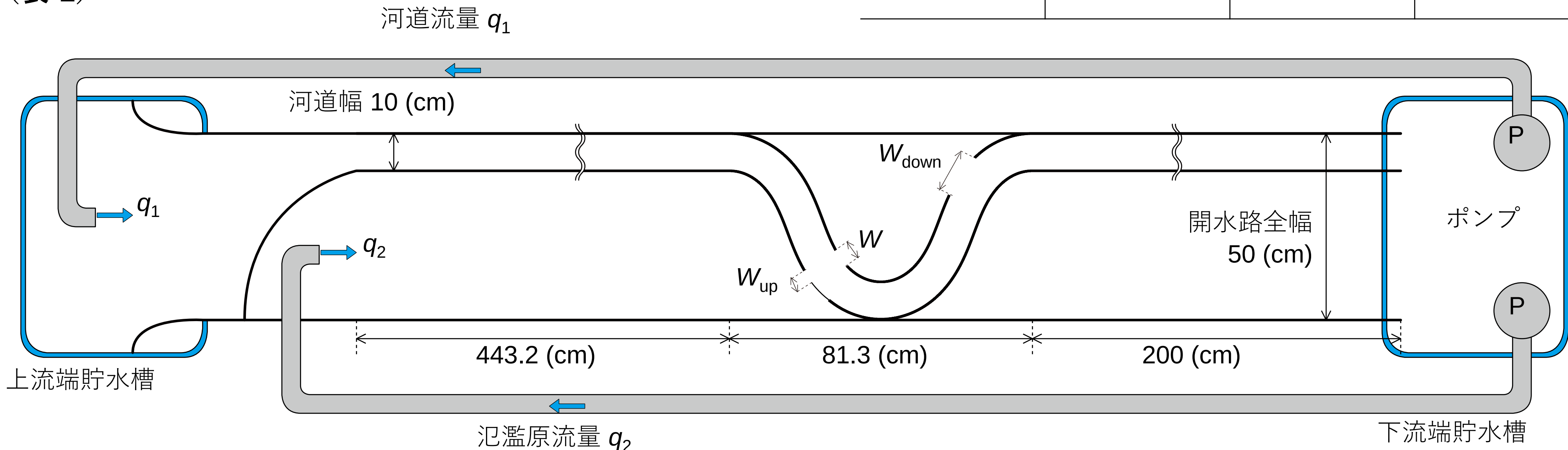


図-2 実験水路の概要（平面図）

流量変化による影響

縦軸は開水路右岸からの距離 y (cm)，横断方向は蛇行部始点からの距離 x を蛇行波長 L で割って無次元化している。氾濫原に与えた流量は図中の開口部の位置から河道へと流入する。流速は1点法による結果を示している。

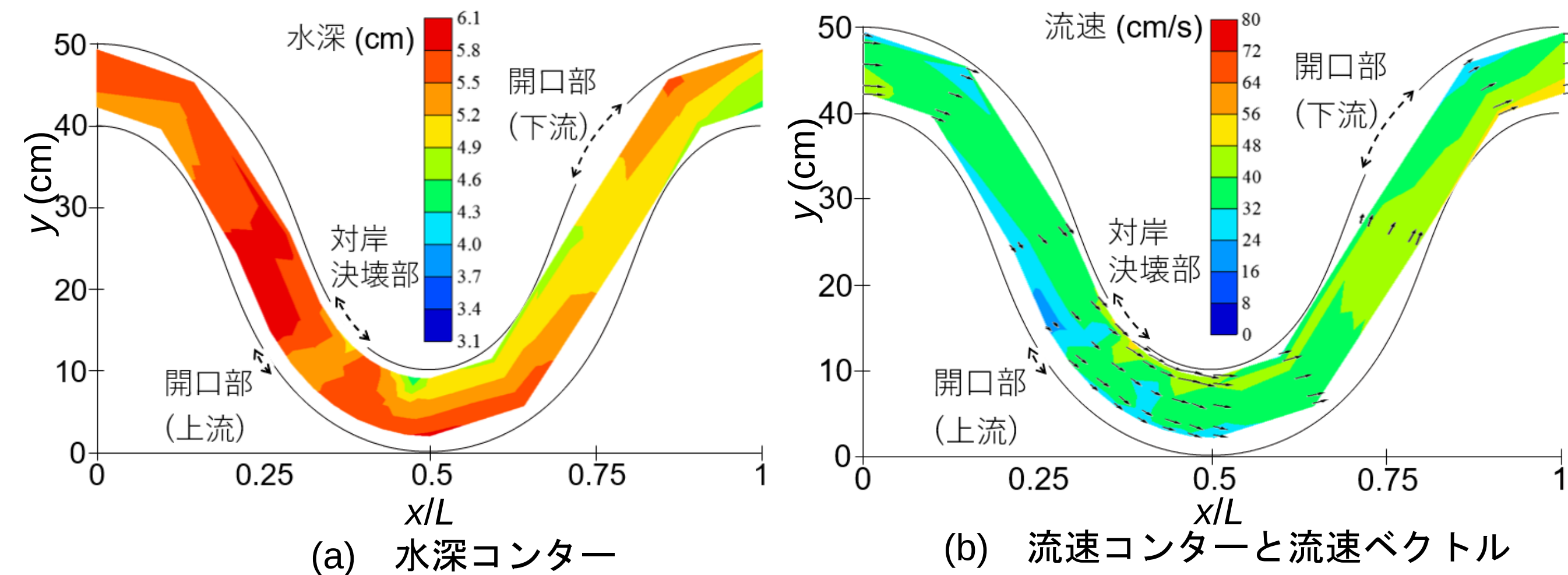


図-3 Case 10-1における平面流況（決壊幅: 10.0 cm）

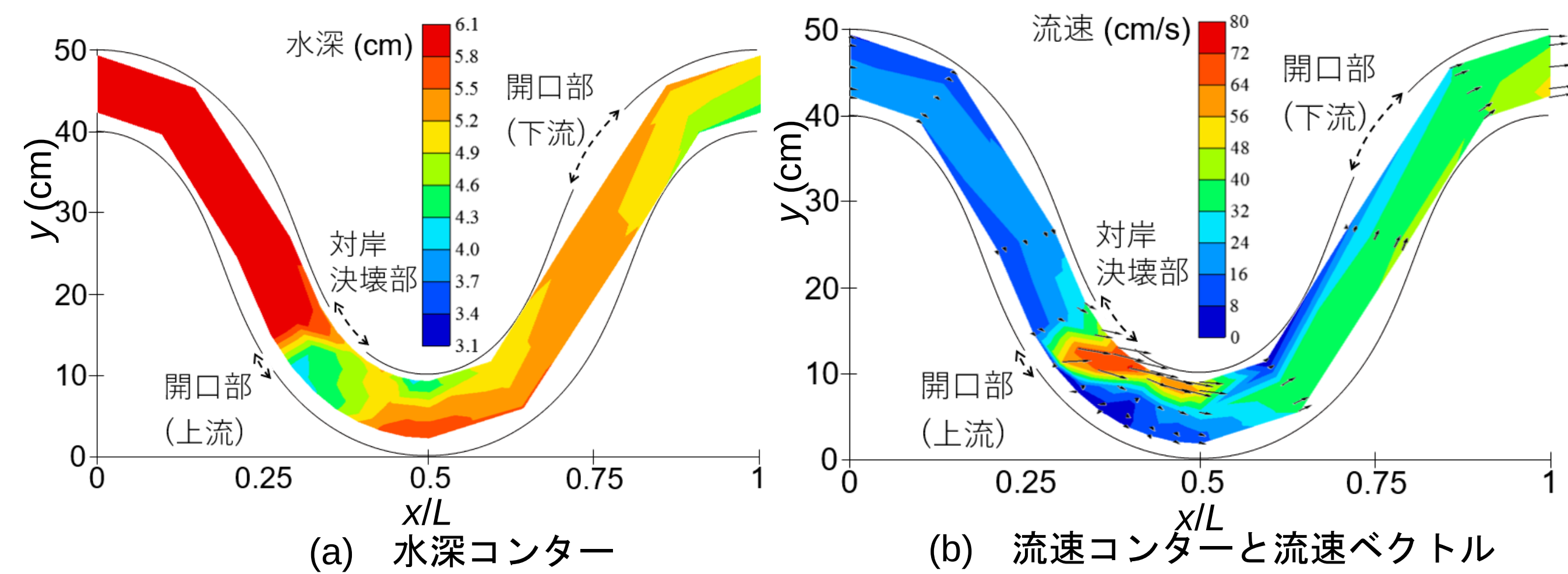


図-4 Case 10-3における平面流況（決壊幅: 10.0 cm）

河道流量の方が大きな**Case 10-1**において、合流後の水深に大きな低下はみられなかった。

（図-3a）

合流後の流速においても氾濫原からの戻り流れの影響はあまり見られず，蛇行河道に沿う流速分布が確認された

（図-3b）

氾濫原流量の方が大きな**Case 10-3**においては，合流部から蛇行部頂点までの右岸側と，蛇行部頂点から下流の内岸側で水深が大きく低下したことが確認できた。これは氾濫原からの大流量が対岸方向に向かって河道の流れを遮ることで右岸の水深低下が起こり，また内岸の高速流が剥離して主流の位置が外岸に遷移するためである。

（図-4a）

流速は，流入する流速が**Case 10-1**に比べて非常に大きく50cm/sを超え，対岸方向を向くようになった。特に対岸決壊部下流側の側壁端部に向かうように流れており，実スケール換算でおよそ5m/s以上という破堤に至る可能性が十分にある水衝部となって浸食を促す流れになっているといえる。

（図-4b）

決壊幅の変化による影響

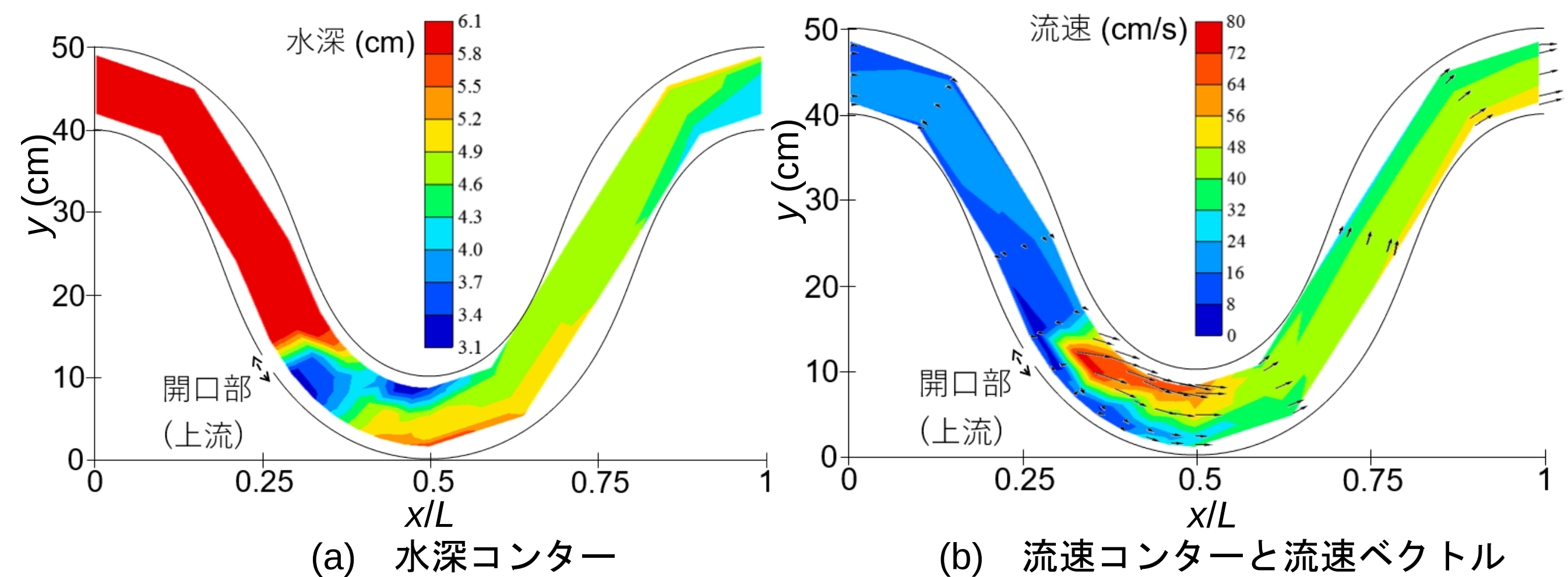


図-5 Case 0-3における平面流況（決壊無し）

対岸への影響が大きいケースのうち，対岸決壊幅が0.0cmの**Case 0-3**では，氾濫戻り流れの流入により対岸側左岸で流速が増加し，水深の低下が確認できた。

（図-5a）

流速は，合流した流れがすべて蛇行河道内を流れるため最大流速が最も大きく，対岸側の流速が大きくなる範囲も広がっている。

（図-5b）

対岸決壊幅が小さい**Case 5-3**において，開口部上流側の水深は**Case 0-3**と比較して変化は見られなかったが，下流側の水深については対岸側が決壊することで全体的に上昇している。

（図-6a）

対岸決壊の発生によって流速がどのように変化したかについては，開口部からの再氾濫による下流側の河道流量の低減や，下流側開口部からの戻り流れによる水位上昇の影響により，**Case 0-3**と比較して左岸側に形成される高速域内の最大流速は低下し，高速域の範囲も小さくなっている。

（図-6b）

対岸決壊幅が最も大きくなる**Case 15-3**においても，開口部上流側の水深は**Case 0-3**と比較して差は小さい。

（図-7a）

流速の変化については，高速域の範囲はさらに小さくなるが対岸である左岸に沿って存在し続けている。また流速ベクトルについては，再氾濫の影響で左岸沿いの流速が決壊部下流側の側壁方向を向くようになっており，戻り流れが水衝部となって浸食を促す流れになり続けることが確認された。

（図-7b）

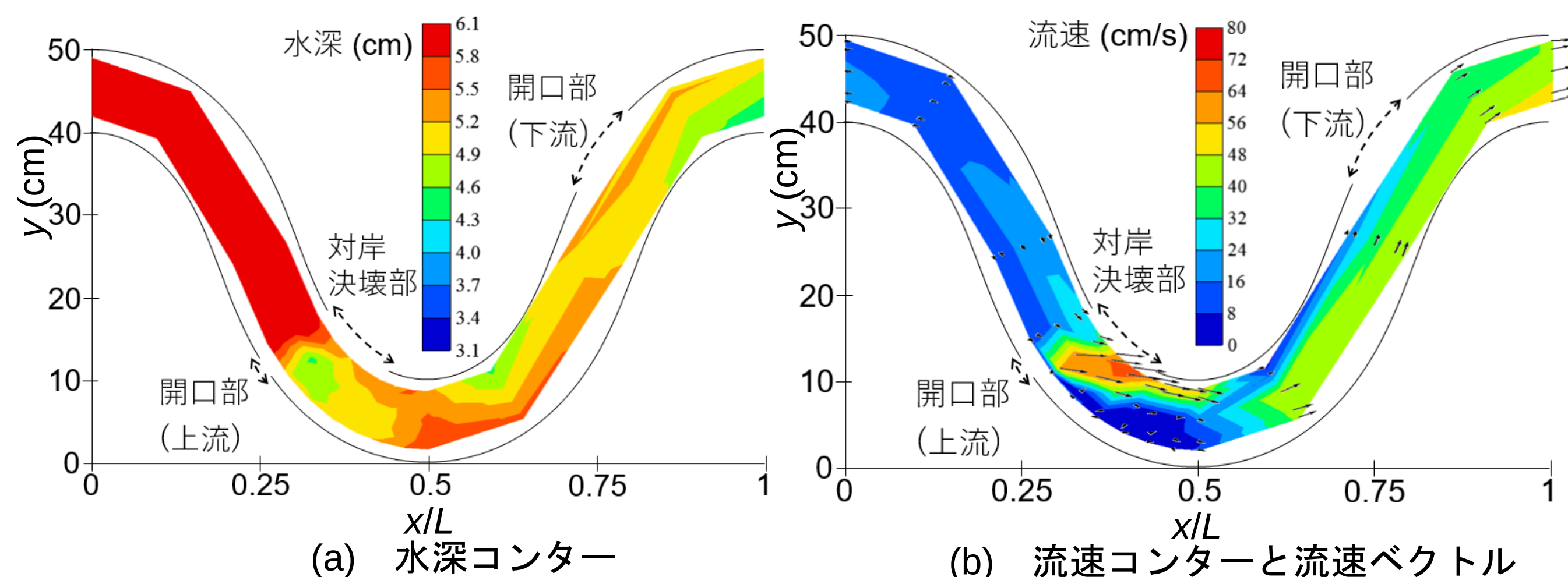


図-7 Case 15-3における平面流況（決壊幅: 15.0 cm）

蛇行河道に沿った水深と流速変化

氾濫原からの戻り流れが対岸へ与える影響についてより詳細に確認するため、**Case0-3,Case5-3,Case10-3,Case15-3**の蛇行河道に沿った水深および流速の分布をそれぞれ図示する。右岸側壁から**2.5cm**離れた地点における蛇行河道に沿った水深・流速の分布、**(図-8)** 左岸側壁から**2.5cm**離れた地点における蛇行河道に沿った水深・流速の分布を示す。**(図-9)**

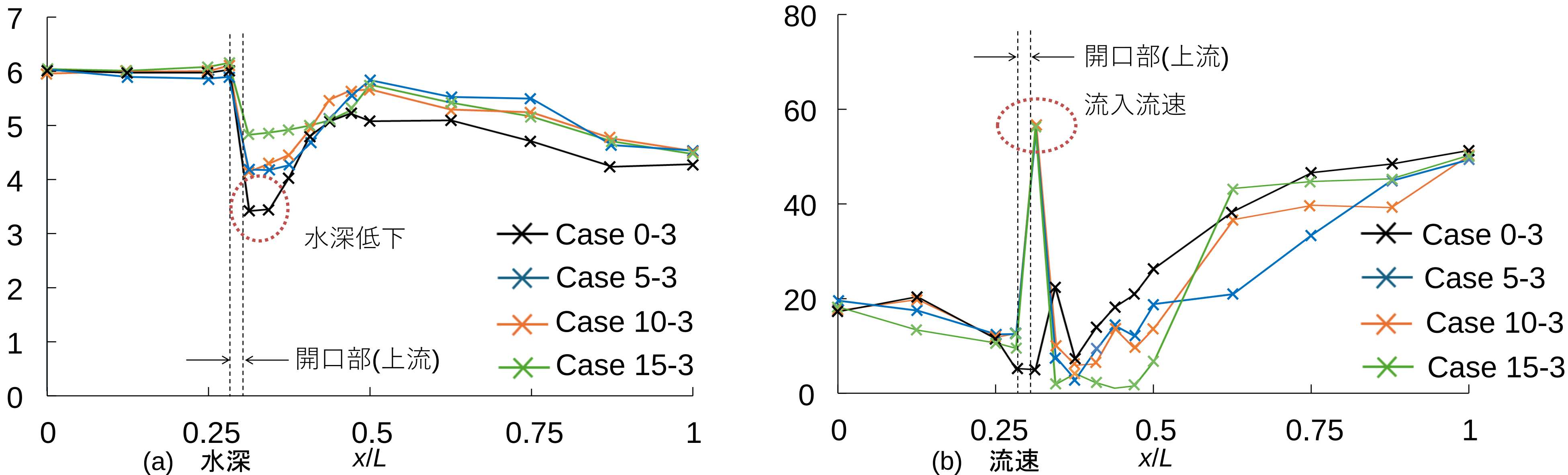


図-8 右岸側壁から2.5cm地点の側線における蛇行河道に沿った分布

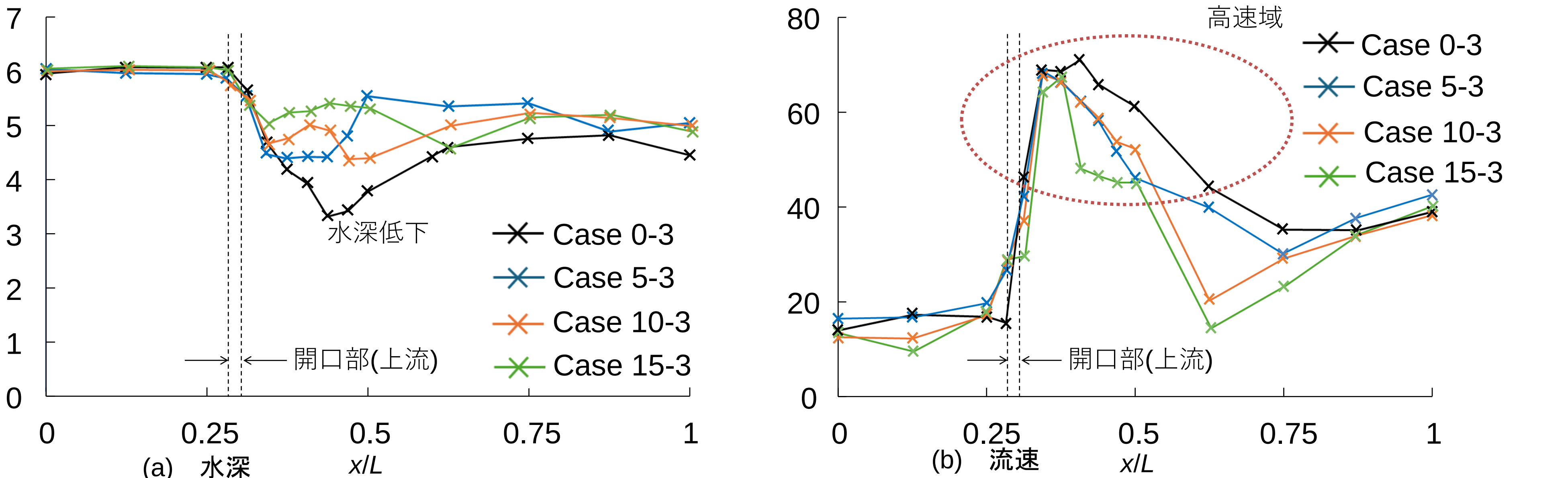


図-9 左岸側壁から2.5cm地点の側線における蛇行河道に沿った分布

右岸に沿った水深については、氾濫戻り流れの合流後に右岸側で水深低下がみられ、対岸破堤がない**Case 0-3**で最も水深が低くなり、対岸決壊幅が最も大きい**Case 15-3**と比較して**1.4cm**程度低くなった。**(図-8a)**

右岸に沿った流速においては、対岸破堤ありのケースで開口部からの流入により開口部付近で急激に流速が増加し、**Case 0-3**と比較して最大で**2.5倍**の流速が確認されたが、この最大流速の大きさは対岸決壊幅を変えても差は見られなかった。また、右岸開口部の下流側は流れが剥離して左岸側へ向かうため死水域のようになり、蛇行部頂点にかけて流速が非常に小さくなっている。**(図-8b)**

次に左岸に沿った水深については、右岸開口部断面の少し下流側で水深低下が発生し、対岸が決壊していない**Case 0-3**で最も水深が低下して対岸決壊幅の増加に伴い水深も大きくなることが確認できた。**(図-9a)**

左岸に沿った流速においては、右岸開口部より下流側で流速が**40cm/s**を超える高速域が形成されている。ピーク流速の大きさに大きな差は見られないが、氾濫戻り流れがすべて河道を流れる**Case 0-3**において高速域が最も長く下流まで広がっている。また**Case 10-3**と**Case 15-3**においては、対岸決壊部からの再合流の影響により、それより上流側の河道内の主流が左岸から右岸へ遷移するため、下流側で流速が大きく低下していることが確認された。**(図-9b)**

まとめ

氾濫戻り流れによる対岸堤防の決壊に対して、その決壊幅が河道内流況に与える影響を水理模型実験により明らかにした。氾濫原からの戻り流れが河道に入ること、対岸に流速の大きな領域が形成され、浸食の危険性が増すと考えられる。

一方、対岸側で決壊が生じることにより、流れが再氾濫することで対岸に沿った蛇行河道内の流速は若干低下し、流速が大きくなる範囲も狭くなることを確認した。

定常下の段階的な決壊幅の拡幅条件ではあるが、高速域は決壊幅が大きい場合も存在し続けた。

また、対岸決壊により河道から氾濫原へ再氾濫すると、河道内の高速流の向きが対岸堤防方向を向き、決壊部下流側の側壁端部に向かうように流れ、水衝部となって浸食を促す流れになる危険性を示した。

さらに、河床変動や洪水規模、上流側決壊の進行による流の戻り流れが河道に入ること、対岸に流速の大きな領域が形成される一方、対岸で決壊が生じて流れが再氾濫すると河道内の流速は若干低下し、流速が大きくなる範囲も狭くなることを確認した。

しかし決壊幅が拡大しても高速域は存在し続け、河道内の高速流が対岸堤防方向を向き、決壊部下流側の側壁端部を直撃する水衝部となるため、継続して浸食を促す危険性を示した。量の変化などによって河道内流況が変化する可能性がある。

本研究は定常条件での実験であり、河床変動や洪水規模の違い、侵食過程の拡大や氾濫原流量の時間的変化などを扱っておらず、移動床における知見を含め実河川への適用には今後の更なる検討が必要となる。