

堤防決壊の事例をもとに考察した 背水区間での堤防の決壊現象について

2019年6月13日(木)

寒地土木研究所

前田 俊一

1. 背水区間での堤防決壊に関する
現状認識と研究の目的
2. 背水区間での堤防決壊事例の紹介と
事例から想定される決壊口の拡幅機構
3. 数値計算による検証
4. まとめ

現状認識と研究の目的

- ・西日本豪雨では、「**バックウォーター現象**」という言葉がマスコミで盛んに用いられ、背水区間での堤防決壊が注目された。
- ・背水区間での堤防決壊は、例えば、平成28年の北海道豪雨でも複数の箇所が発生しており、**決して珍しい現象ではない**。
- ・支川の背水区間での堤防決壊は**本川（合流先河川）堤防の決壊と遜色のない氾濫被害**をもたらし得る。
- ・堤防決壊に関する既往研究は、自流区間での決壊を対象にしたものが大半で、**背水区間の堤防決壊を扱った研究はほとんど無く、その特徴は明らかになっていない**。

本研究の目的(内容)

- ①背水区間での堤防決壊の事例を収集して、その特徴を整理して分類する。
- ②事例を整理した結果や数値計算から、決壊口の拡幅機構について検討を行う。

研究の最終目標のイメージ

- ①背水区間での決壊口の拡幅機構を明らかにする。
- ②背水区間での締切作業(荒締切)の効率的な実施方法や留意事項をとりまとめる。

自流区間の堤防決壊

・河床勾配が急な場合

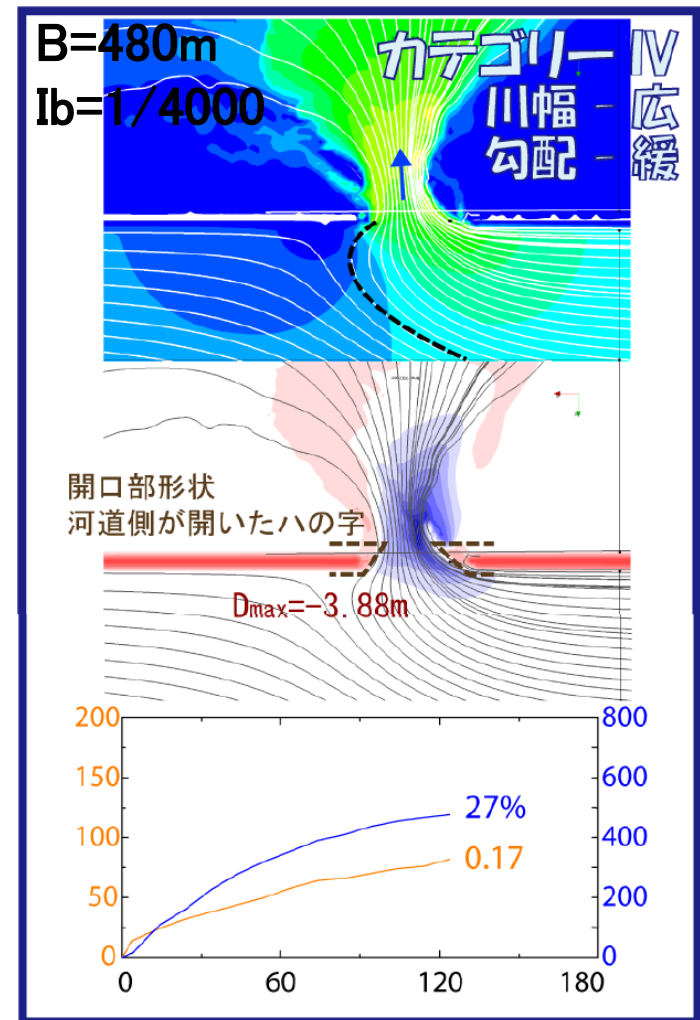
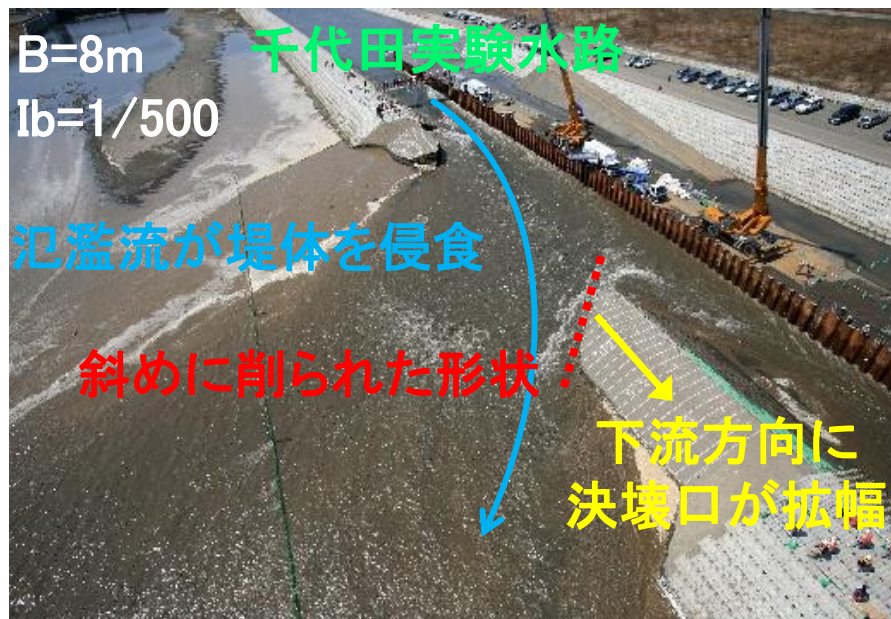
決壊口の拡大は下流方向に卓越する

→決壊口の下流側の欠口止工の実施優先度大

・河床勾配が緩い場合

決壊口の拡大は急勾配河川ほど顕著ではなく、
決壊口付近の洗掘が大きくなり落掘が発達

→締切資材の必要量の見積りに注意



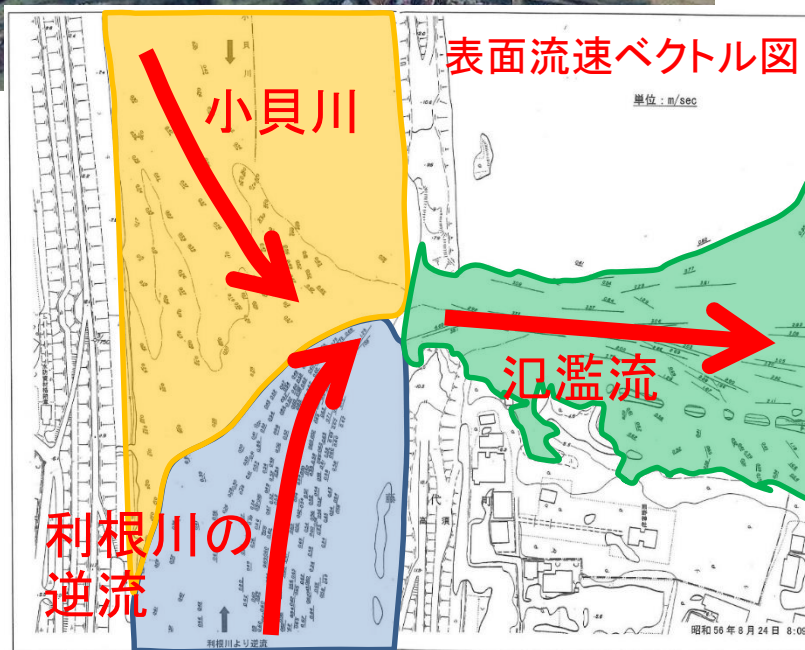
川幅が広く、河床勾配が緩い場合の
堤防決壊現象(数値計算)

背水区間での堤防決壊事例①

パターン1

氾濫流の流向は堤防法線に対して概ね直角

小貝川(利根川水系 1981年)



幾品川(斜里川水系 2016年)



小田川(高梁川水系 2018年)



背水区間での堤防決壊事例②

パターン2 氾濫流の流向は堤防法線に対して斜め上流



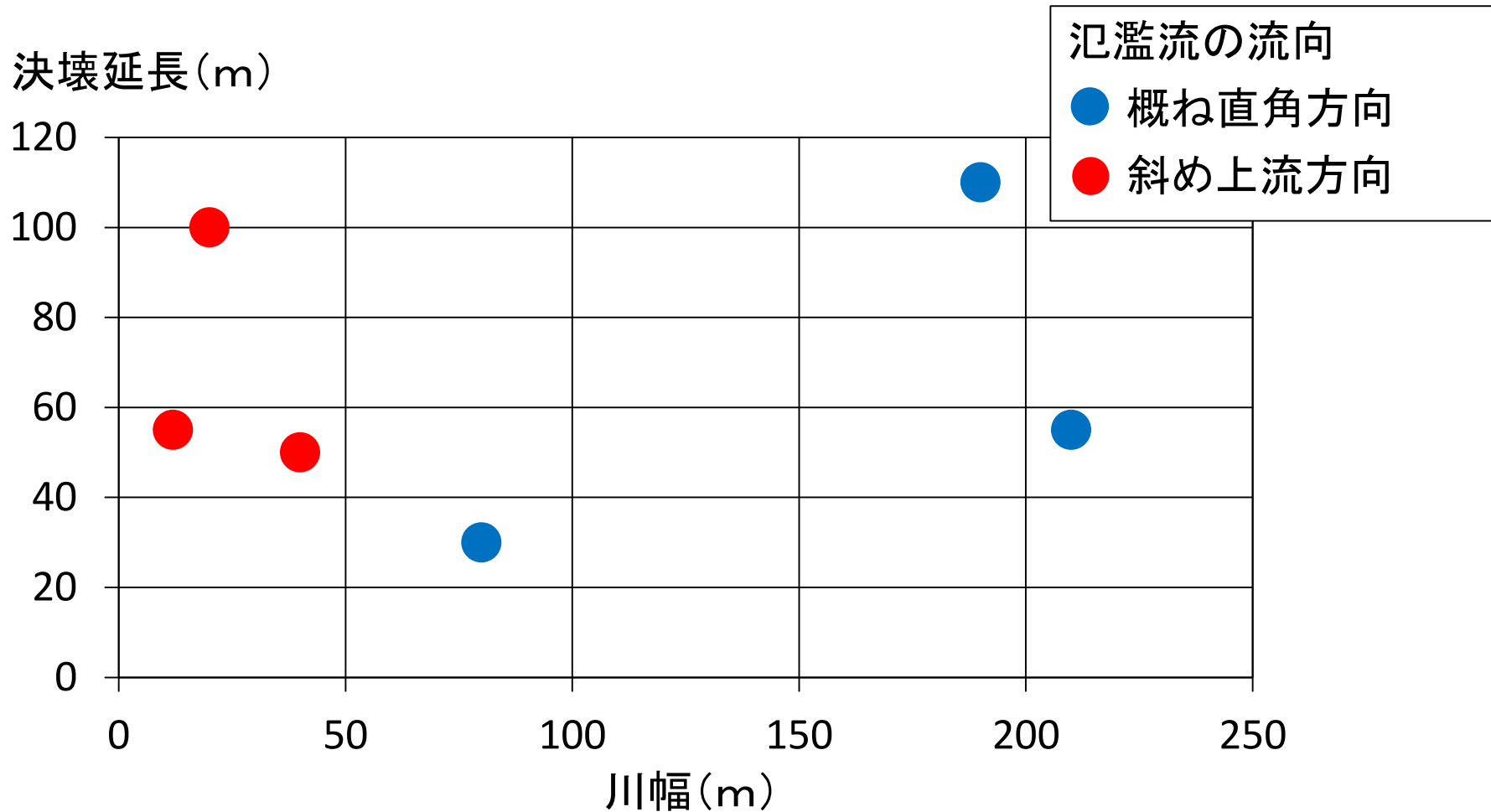
背水区間での堤防決壊事例③

東亜川

オオイタドリが合流点付近から決壊口までの長い区間で逆流によって上流側に倒伏



背水区間での決壊延長と川幅の関係



- ・ 氾濫流の流向が斜めの場合には決壊口の拡幅が進む。
 - ・ 氾濫流の流向が概ね直角方向の場合には決壊口の拡幅があまり進まない。
- このような傾向は、自流区間での堤防決壊と同じ。

背水区間での決壊口拡幅機構に関する仮説

自流区間の堤防決壊（河床勾配が急）

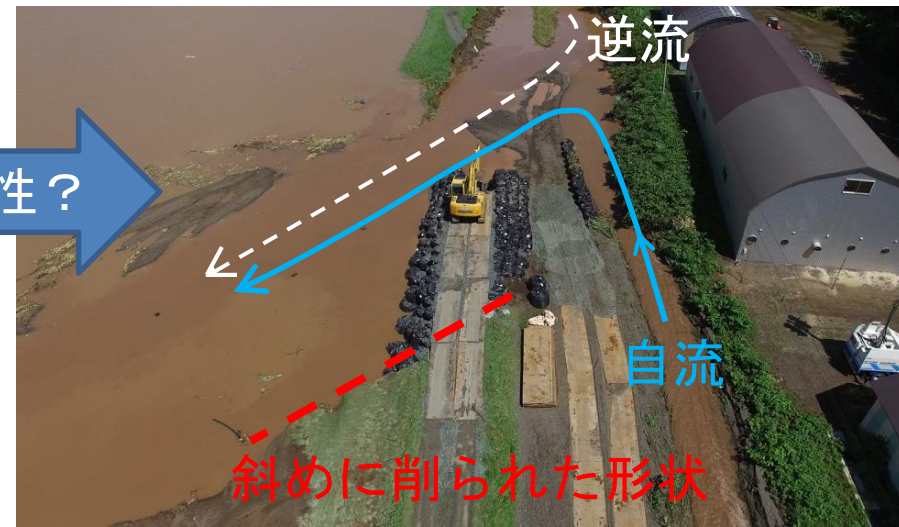
- ・決壊口直上流での流速の大きさが氾濫流の流向を決めたり、決壊口拡幅の原動力となる



千代田実験水路

背水区間の堤防決壊

- ・決壊地点で流れが衝突する逆流と自流の流体力の大きさが決壊口拡幅に大きな影響を及ぼしているのではないか



柴山沢川

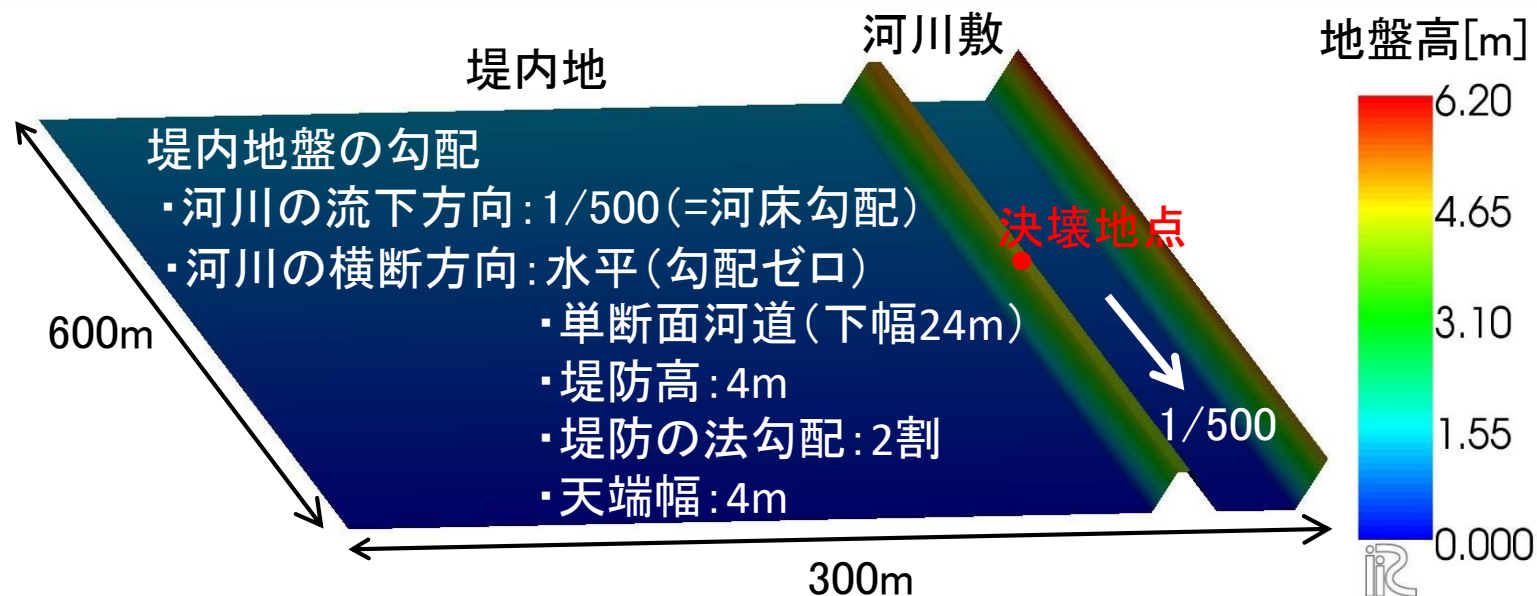
仮説

逆流の流体力 > 自流の流体力

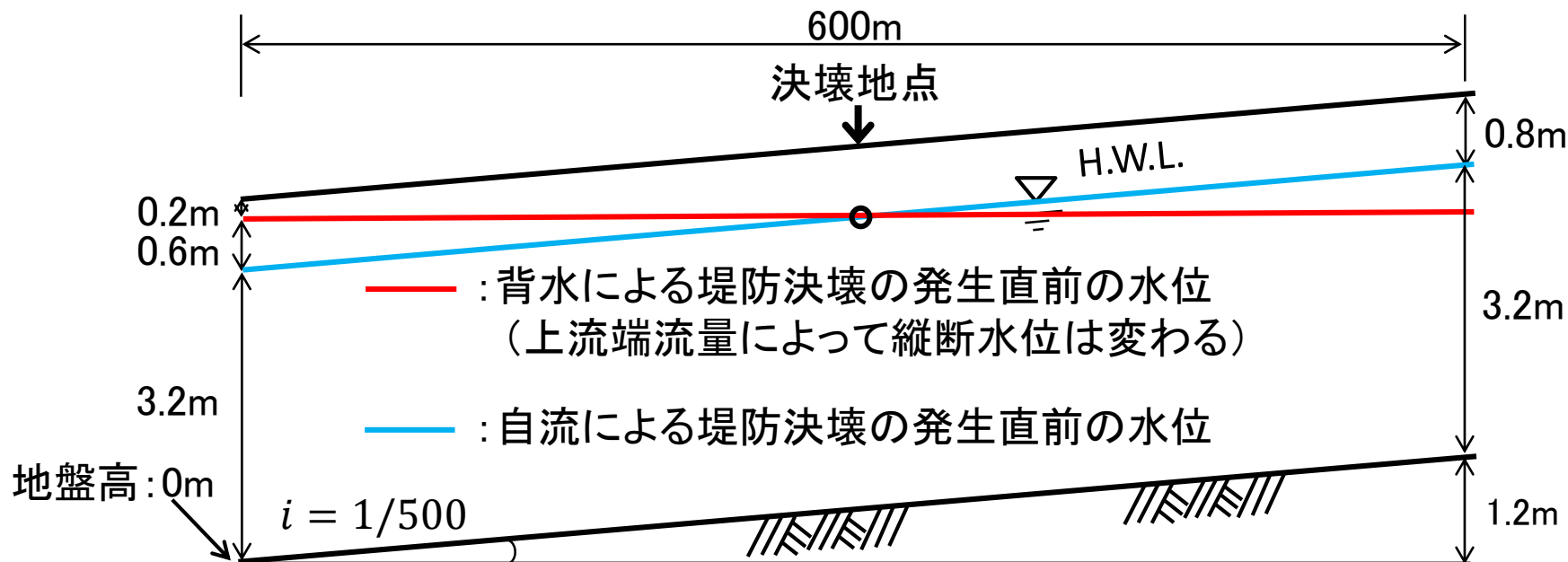
→ 順流と逆流の衝突地点が河道内を上流側に移動しながら、決壊口は主に上流に向かって拡幅し、氾濫流の流向が斜め上流になる。

→ 自流の流量が小さいほど、決壊口の上流側への拡幅の程度が大きくなる。

数値計算の河道形状及び計算条件①



自流による堤防決壊現象と背水によるそれとの違いを見るために、モデル地形は統一



数値計算の河道形状及び計算条件②

計算条件

- ・ n (計算領域全体)=0.035
- ・ d_{50} (堤体及び河床材料)=25mm
- ・境界条件(下流端及び側方): 自由流出
- ・計算時間: 堤防決壊後5時間まで

計算ケース: 9ケース

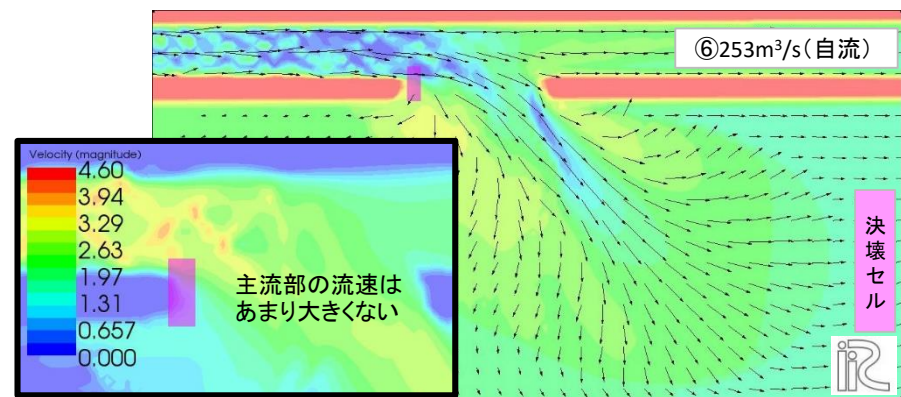
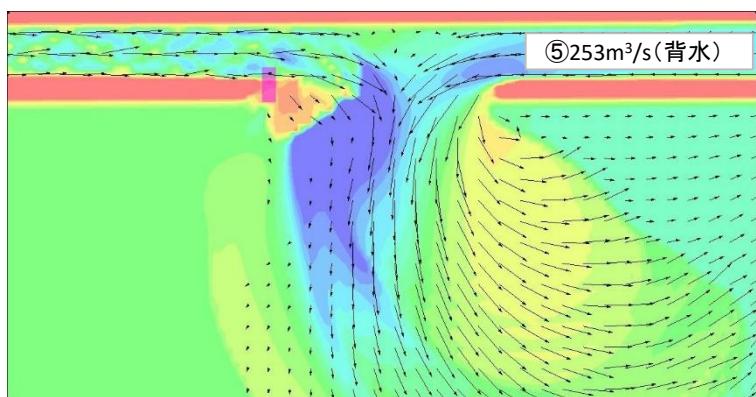
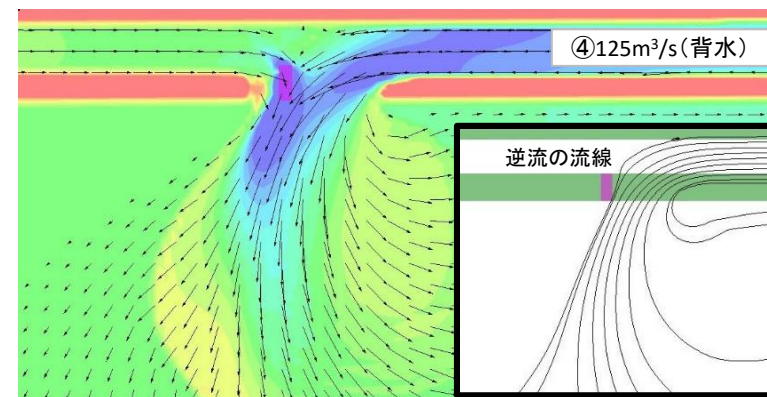
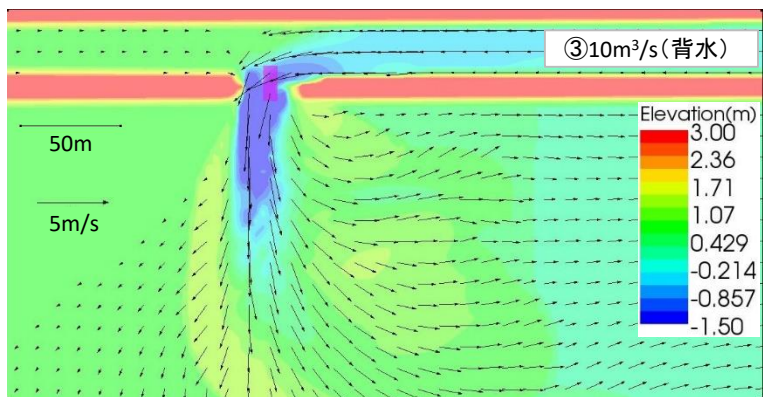
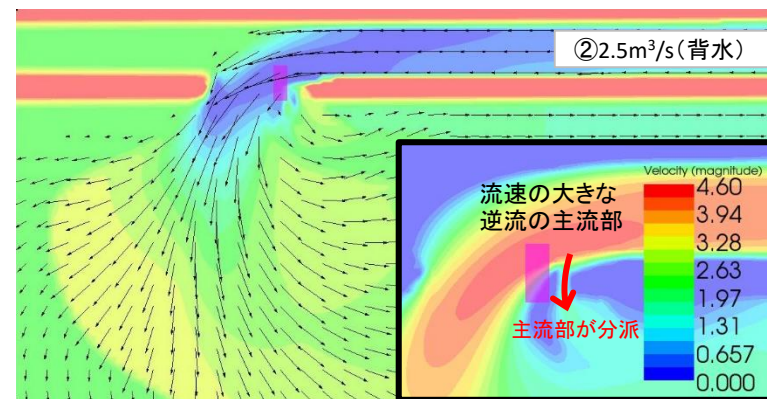
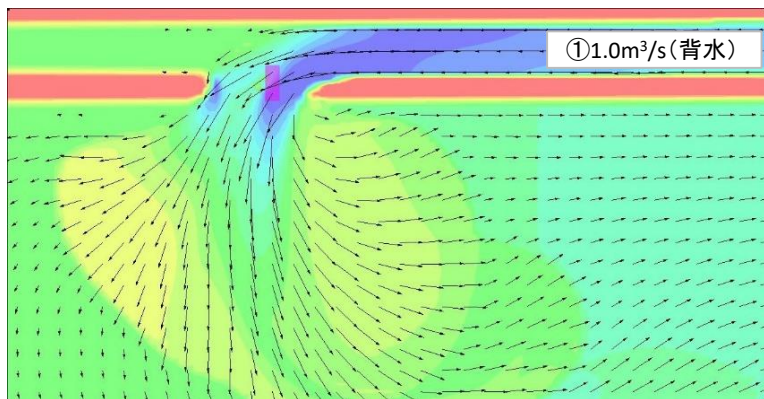
- ・上流端から一定流量を与え続ける(ハイドロは考慮せず)
- ・自流による堤防決壊1ケース(上流端流量: 水位がH.W.Lに達する流量253m³/s)
- ・背水による堤防決壊8ケース(上流端流量: 1、2.5、5、10、25、50、125、253m³/s)

数値計算モデル: 決壊口の拡幅の計算が可能なiRIC Nays2D Breach

- ・堤防決壊地点の河川水位(背水による堤防決壊の場合は下流端水位)が堤防決壊水位に到達した後に、堤防を縦断方向に8mにわたり瞬間的に下刻決壊させる

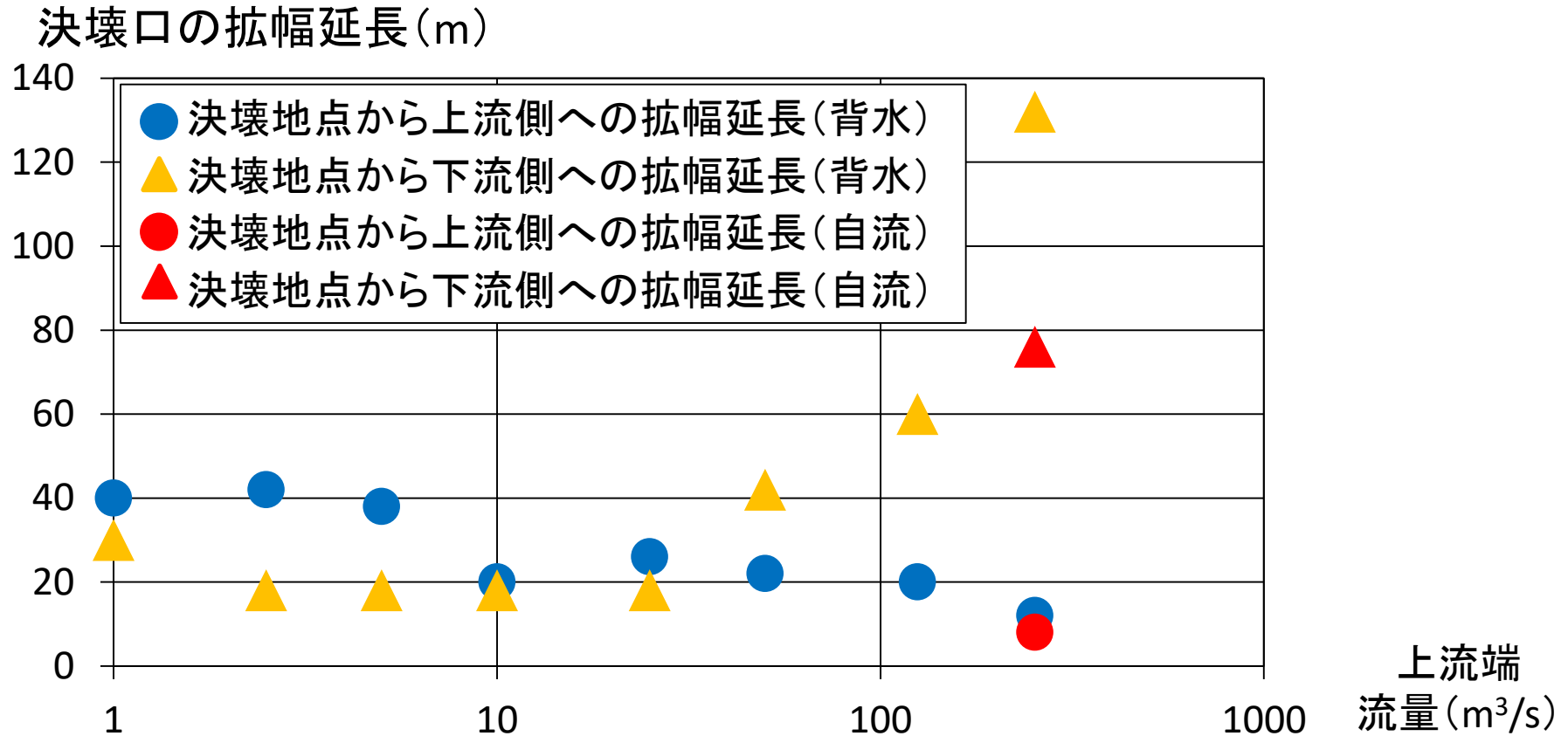
$$q_* = \frac{dV}{dt} \frac{1}{\sqrt{sgd_{50}^3 B_m}} (1 - \lambda) = \alpha_* (\tau_* - \tau_{*c})^{\beta_*}$$

計算結果及び考察①



計算終了時(決壊から5時間後)の状況

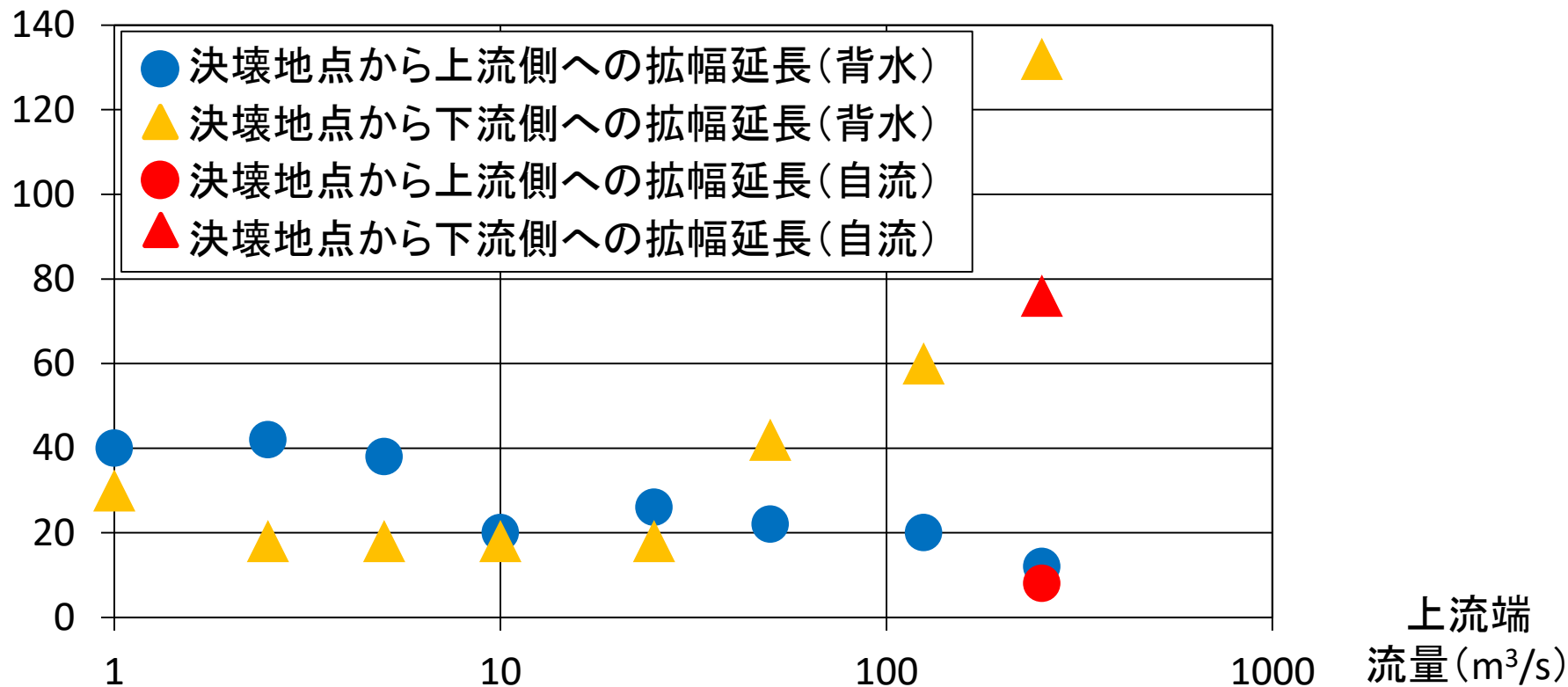
計算結果及び考察②



- ・背水による堤防決壊では、上流端流量が小さいほど決壊口の上流側への拡幅延長が大きくなる傾向 → 仮説と整合の取れた結果
- ・上流端流量と下流側への拡幅延長の関係は明瞭ではなく、上流端流量が小さくても下流側への拡幅は一定程度進む。
 - ・流速の大きな逆流の主流部が決壊口の下流側堤防の先端近傍を通過
 - ・逆流の主流部が分派

計算結果及び考察③

決壊口の拡幅延長(m)

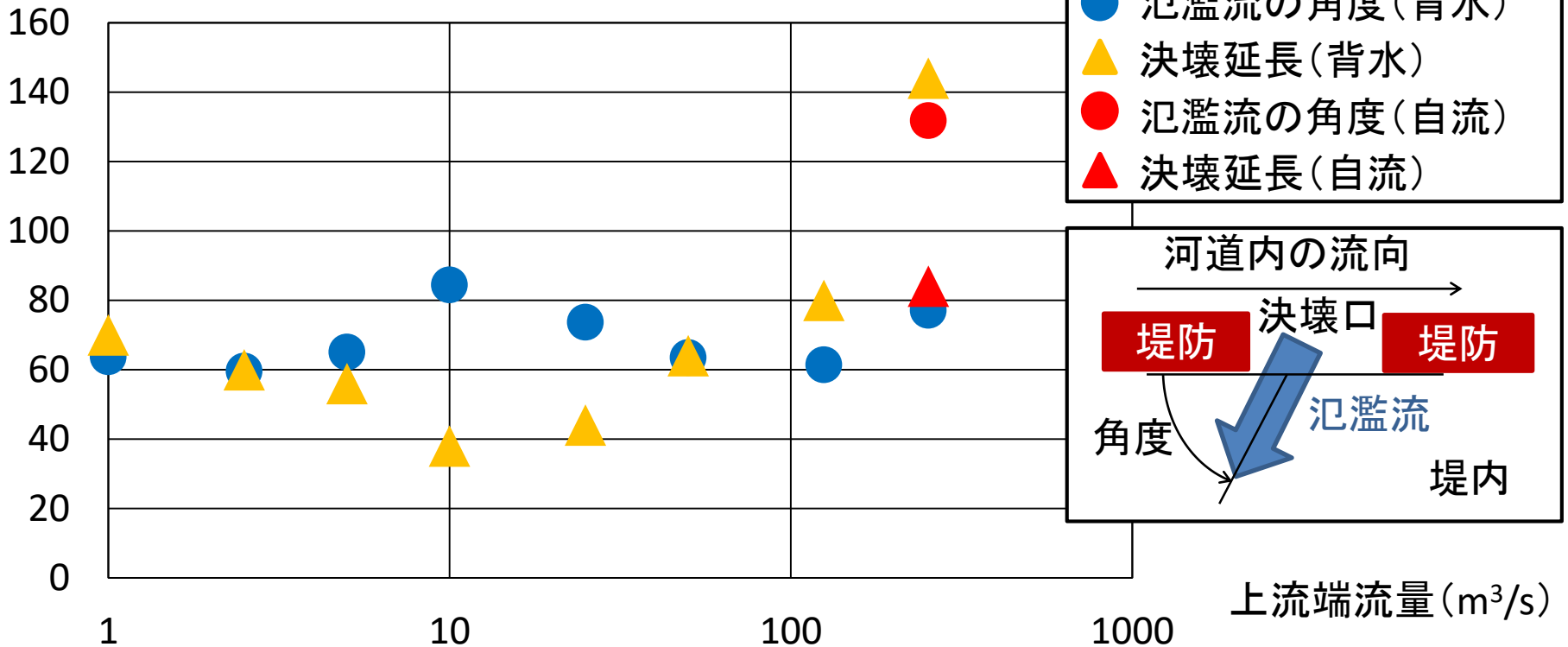


- ・上流端流量が大きくなると、下流側への拡幅が大きく進んでいる。
→ 順流と逆流の衝突地点が決壊地点よりも下流に移動していることと関連。

背水による堤防決壊では、順流と逆流の衝突地点の移動距離に応じた決壊口の拡幅と、上流端流量が小さくても一定程度進む決壊口の下流側への拡幅が、決壊口の拡幅現象を支配している可能性

計算結果及び考察④

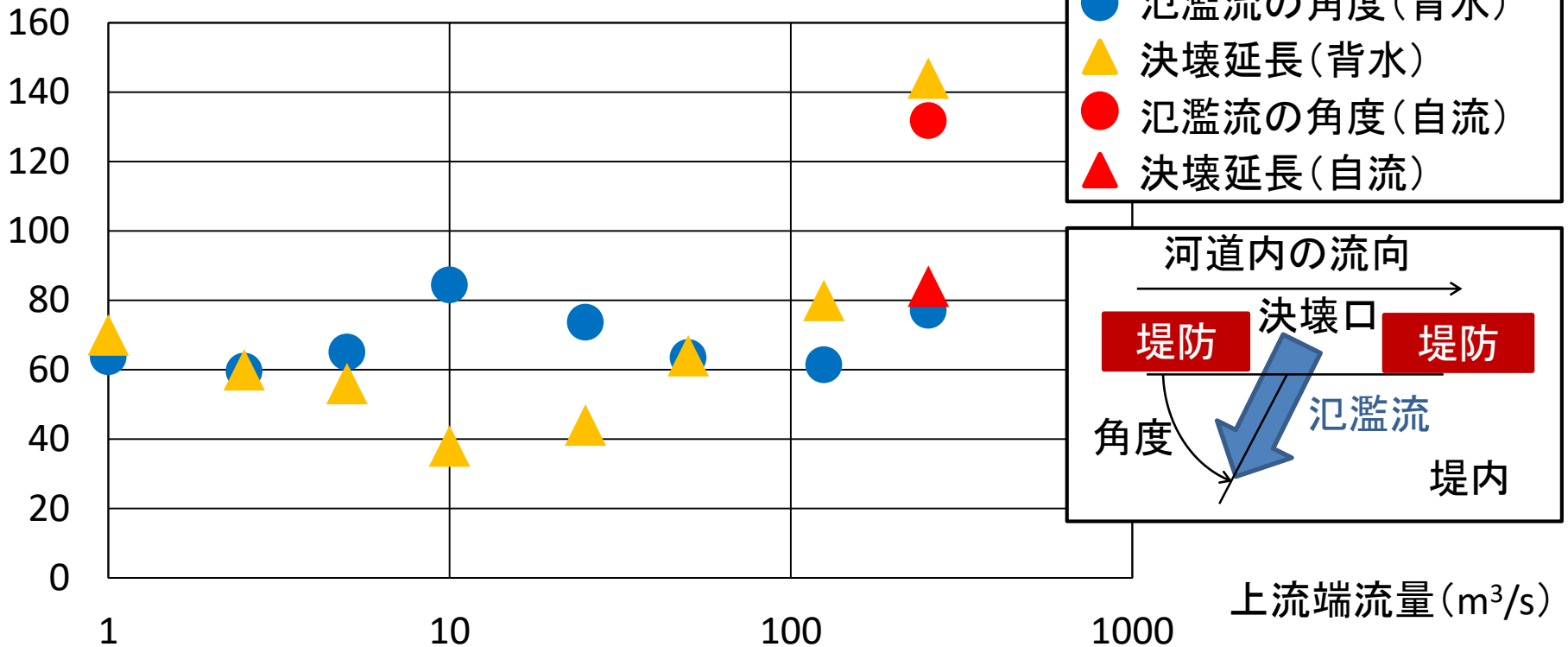
角度(°)、決壊延長(m)



- ・背水による堤防決壊では、上流端流量が10m³/sの場合に決壊延長が最小となり、この時の氾濫流の流向は堤防法線に対して概ね直角となった。
- ・これ以外の場合の氾濫流の流向は程度の差こそあれ、全て堤防法線に対して斜め上流となった。
- ・これは、**収集事例の傾向(氾濫流の流向が堤防法線に対して斜め上流になると決壊延長が大きくなり、概ね直角方向になると決壊延長は大きくならない)**と一致。

計算結果及び考察⑤

角度(°)、決壊延長(m)



- ・10m³/s以下の範囲では、上流端流量が小さくなるほど決壊延長が大きくなり、氾濫流の流向もより上向きになる傾向。上流端流量が小さくなるほど逆流の流体力の影響が相対的に増して、氾濫流の流向がより上向きになった可能性。
- ・10m³/s以上の範囲では、上流端流量が小さくなるほど決壊延長は小さくなるが、氾濫流の流向に一定の傾向を見出すことは難しい。特に、50m³/s以上では、氾濫流の流向は上向きだが、決壊口の拡幅の卓越方向は下流側であり、氾濫流の流向は順流と逆流の流体力の大小関係だけでは決まらない可能性。

計算結果及び考察⑥

背水による堤防決壊の特徴（自流による堤防決壊との比較）

	背水による堤防決壊	自流による堤防決壊
決壊口の 主要な 拡幅方向	自流の流量の大小によって決まる。 ・自流の流量が小さいと上流側への拡幅が大きくなる傾向 ・自流の流量が小さくても下流側への拡幅はある程度進む ・自流の流量がある程度大きくなると、下流側への拡幅が卓越	主に下流側に拡幅
氾濫流の流向	堤防法線に対して斜め上流～概ね直角	堤防法線に対して斜め下流
氾濫流の 主流部の流速	かなり大きい（合流先河川から逆流量が自流の流量よりもかなり大きいため）	それほど大きくない
落掘	概ねそれなりに発達	あまり発達しない

まとめ

- ・背水区間での堤防決壊事の事例を氾濫流の流向に着目して分類すると、①堤防法線に対して斜め上流方向に氾濫流が流出する場合と、②概ね直角方向に流出する場合の2つに分類することができる。
- ・①は決壊延長/川幅が大きく、②は小さい傾向にある。これは、自流区間での氾濫流の流向と決壊延長の関係と同じである。
- ・数値計算によっても概ね直角方向に流出する場合の決壊延長は短くなることが示された。
- ・合流先河川からの逆流と支川の自流による順流の流体力の差の大小が、氾濫流の流向や決壊口の拡幅に影響を与えている要因の一つと考えられる。
- ・背水区間での堤防決壊では、順流と逆流の衝突地点の移動距離に応じた決壊口の拡幅と、上流端流量が小さくても一定程度進む決壊口の下流側への拡幅が、決壊口の拡幅現象を支配している可能性が考えられる。