

2016年8月豪雨における常呂川支川の 破堤機構の解明

UNRAVELLING THE BREACH MECHANISM OF TOKORO RIVER TRIBUTARIES DURING HEAVY RAIN IN AUGUST 2016

深澤アダム翔¹・渡邊康玄²・島田友典³

Sho Adam FUKAZAWA, Yasuharu WATANABE and Tomonori SHIMADA

¹学生会員 北見工業大学 社会環境工学科 (〒090-8507 北海道北見市公園町165番地)

²正会員 北見工業大学 (〒090-8507 北海道北見市公園町165番地)

³正会員 寒地土木研究所寒地河川チーム (〒062-8602 北海道札幌市豊平区平岸1条3丁目1番34号)

In recent years, bank breaching occurred high frequency. In August 2016, the east part of Hokkaido in Japan was attacked a heavy rainfall and the tributaries of Tokoro River (Shibayamasawa River and Toua River) had a bank breach caused by the back water of Tokoro River. Although both tributaries were almost the same size and both junctions were very close, the situation of inundation were largely different. At the breaching point of the Shibayamasawa River, the inundated flow toward to the upstream side of the inland, while at the Toua River it was perpendicular to the channel.

In order to understand the cause of the difference in phenomena, it was tried to reproduce the breaching situation in both tributaries using the numerical simulation model “iRIC Nays 2D Breach”. From the result, it was revealed that the direction of the inundated flow changes greatly depending on the timing of the discharge change at the tributary when the bank failure occurs. At the time of bank breaching, when the discharge of the tributary is small, the inundated flow towards to the upstream direction. At the time of bank breaching, when the discharge of the tributary is large, the inundated flow towards to the perpendicular direction of the channel.

Key Words: Bank breach, heavy rainfall, inundation, back water, “iRIC Nays 2D Breach”

1. はじめに

近年、気候変動の影響による豪雨災害が多発し、中小河川や大河川の支川等での破堤を伴う被害が多く報告されている。そのような中で 2018 年 8 月では西日本豪雨災害により倉敷市真備町地区で小田川の 3 支流の計 5 箇所での堤防決壊が生じた¹⁾。一方、2016 年 8 月の北海道豪雨では各地で破堤や流路変動に伴う災害が発生している中、常呂川では破堤、堤防の侵食、噴砂といった被害が多く見られた。そのような中で常呂川支川である柴山沢川と東亜川で常呂川本川の背水の影響によるものと考えられる越水破堤が生じた。常呂川本川および柴山沢川、東亜川の両支川の位置図を図-1 に示す。両支川は流域面積や河道幅等がほぼ同規模の河川であるが、破堤状況や堤内地に残された痕跡が大きく異なっていた。東亜川の破堤では、氾濫流により形成された堤内地盤の洗堀痕は河道法線に対し直角方向に堤防位置から 300m ほど離れた地点まで生じていた。一方、柴山沢

川の破堤では、氾濫流により形成された堤内地盤の洗堀痕は河道法線に対し直角方向からやや上流方向にかけて残されていた。洗堀痕の幅は東亜川に比して広いが長さは東亜川の半分である堤防位置から 150m ほど離れた箇所までしか存在していなかった。

破堤拡幅現象については縮尺模型²⁾や実物大規模の水路を用いた破堤実験³⁾辻本⁴⁾らや島田⁵⁾らによる破堤拡幅数値計算などの事例はあるものの、いずれも自流通間を対象とした現象であり、背水区間において破堤が生じた場合の破堤拡幅プロセスは明らかとなっていない。自流通間だけではなく背水区間における破堤拡幅進行過程を明らかにすることは、堤防決壊時の減災対策を行う上でも重要な知見となる。

本研究では、柴山沢川と東亜川を対象にこれら 2 支川で現象が大きく異なっていた要因を明らかにするため、解析を行った。破堤後の痕跡は、現地調査により把握されているものの、破堤時の現象は確認されていないことから、破堤拡幅進行過程を把握す

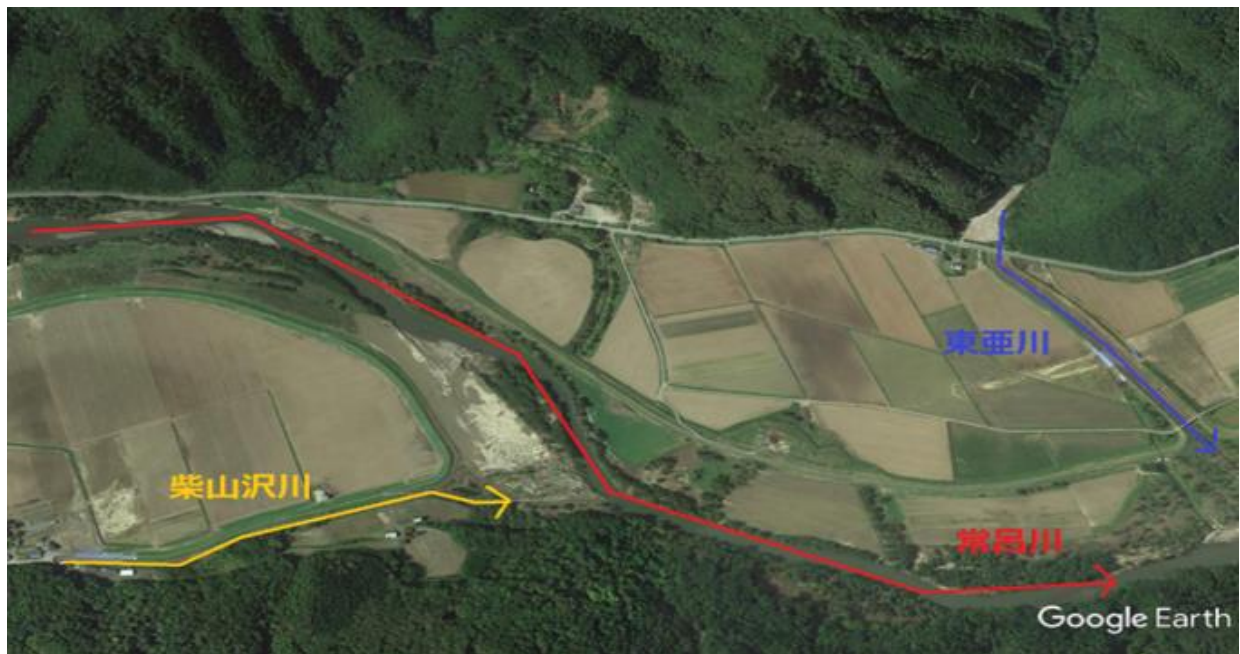


図-1 常呂川本川と2支川の位置図

ることも含めて河川シミュレーションソフト iRIC の破堤拡幅計算モデル「Nays 2D Breach」⁶⁾を用いて検討を行った。

2. 計算モデル概要

Nays2D Breach の基本となるモデルは2次元浅水流河床変動計算モデル iRIC Nays2D⁷⁾であり、堤防部分の破堤拡幅進行は千代田実験水路での破堤実験結果より得られている式(1)で表される無次元掃流力と堤体崩壊量の関係式³⁾を組み入れてモデルの改良が行われている。

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

ここで、 q_* ：無次元堤体崩壊量、 V ：堤体崩壊量、 t ：時間、 s ：砂粒の水中比重、 g ：重力加速度、 d_{50} ：砂粒の50%通過粒径、 B_m ：堤体下幅、 λ ：空隙率、 τ_* ：無次元掃流力、 τ_{*c} ：無次元限界掃流力、 α_* 、 β_* ：モデル定数を示す。 τ_* を破堤開口部近傍の上流及び下流の氾濫流量の水理量より算出し、これを堤防セルと設定した堤体に作用する外力として、(1)式より堤体崩壊量 dV/dt を算出し堤防セル部分を浸食させる。そして堤防が基盤高まで浸食されると、その地点は2次元河床変動計算を適用する通常セルと移行の計算を行うが、こと詳細については柿沼らの文献⁹⁾を参照されたい。

3. 柴山沢川の破堤

(1) 柴山沢川の被災概要

北海道地方では、2016年8月17日から8月23日の一週間に3個の台風が上陸し、道東を中心に大雨による河川の氾濫や土砂災害が発生した。これらの

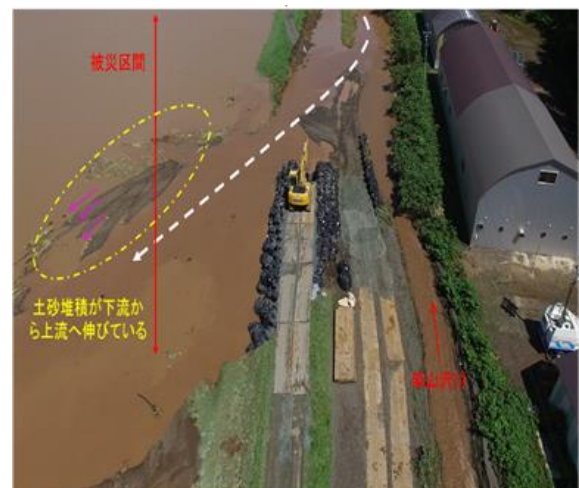


図-2 柴山沢川の被災状況

台風の影響により、常呂川において、支川の2箇所による堤防での法崩れや堤防法尻における基盤漏水による噴砂等が発生した。堤防の決壊や噴砂、低水護岸の流出等が確認された範囲は KP12.5~KP40.0 の中流域である。この地区は、山間部の狭窄区間になっており、河道内の水位が上昇しやすく、高い水位が長く続く河道特性である。このようなことから、今回のような堤防の決壊等の被害が生じた可能性が高い³⁾。出水時における管理者の巡視および近隣の住民からの聞き取りによると、柴山沢川の破堤時刻は、8月21日0時00分ごろと推定されている¹⁰⁾。また、破堤に至った時の被災状況を図-2に示す。柴山沢川と合流付近の常呂川の水位と柴山沢川の流量ハイドロを示す。図-3によると、柴山沢川における破堤の推定時刻は、柴山沢川の流量ピーク生起時刻ではなく、本川である常呂川の流量ピーク生起時刻近傍であることがわかる。破堤した際に氾濫流の方

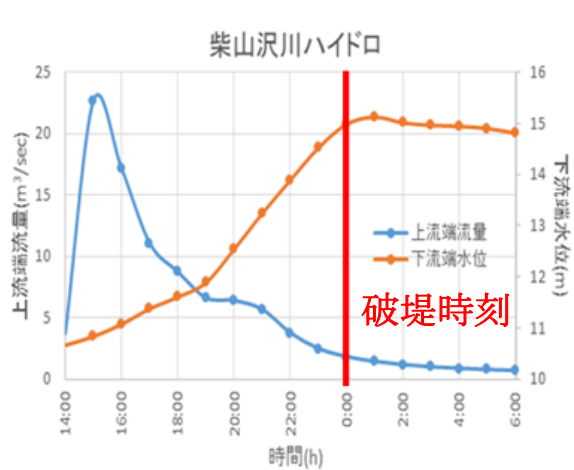


図-3 柴山沢川ハイドロと下流端水位

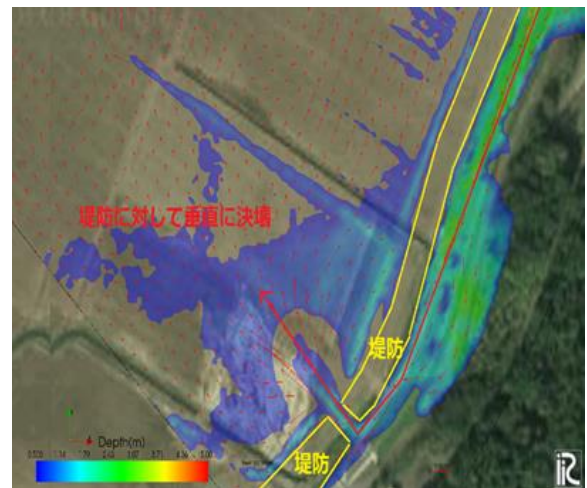


図-5 柴山沢川の堤防決壊後

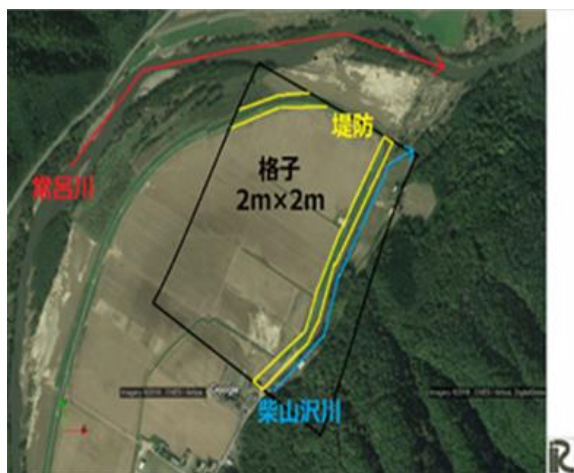


図-4 柴山沢川の計算領域

向が上流に向くという、既往の知見とは異なる現象であった可能性が存在したことから、その要因についても分析することとした。

(2) 柴山沢川の計算条件

計算領域は、氾濫域や河川流の破堤時の状況を考慮して、図-4に示すように常呂川と柴山沢川との合流地点に向かって柴山沢川の縦断方向にSP400~SP1100m、横断方向に700mとした。また、格子間隔は縦横断方向とも2mのメッシュに設定し、計算領域を示した図を図-4とした。マンニング粗度係数は0.035に設定し、計算のタイムステップは0.04秒とした。境界条件として、上流では柴山沢川の実績流量を、下流では常呂川との合流点における水位をそれぞれ与えた。図-3に柴山沢川の流量と合流点における水位の時系列を示す。計算の対象とした時間は、柴山沢川の流量ピークと常呂川本川の水位が高い時間帯を含む2016年8月20日PM14:00から2016年8月21日AM6:00までとしている。

計算上、破堤が生じるのは、堤体天端高から越水した時点で、縦断距離8mの幅で決壊が開始するよう設定した。また、堤体材料粒径及び河床材料粒径は、現地の土質試験結果から、それぞれ4.8mmと

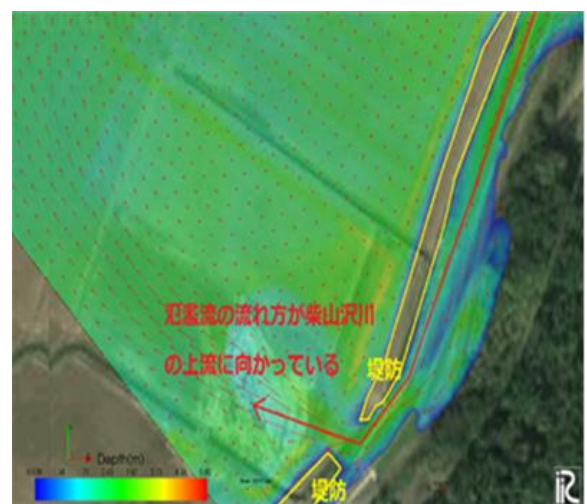


図-6 柴山沢川の拡幅終了時

1.5mmとした²⁾。

(3) 柴山沢川の計算結果

堤防の決壊開始時から拡幅終了時において氾濫流の挙動がどのように変化しているかを比較する。最初に、堤防決壊直後の氾濫状況を図-5に示す。この時点では堤外地から堤内地に流れていく氾濫流の向きは堤防に対し垂直であることが確認できる。堤防決壊後の時点ですでに柴山沢川の自流はほぼない状態になっており、今回の破堤は本川の影響によるものと確認できる。

破堤拡幅時における氾濫流量の挙動を図-6に示すが、拡幅終了時にかけて堤外地から堤内地に流れる氾濫流の向きは変化し、常呂川本川の背水の影響を受けて、河道法線に対し直角方向から上流方向に向きを変えていることが確認できる。

氾濫流が上流に向かうことによって破堤箇所の上流側が侵食を受け、破堤部の上流方向に拡大している。また、破堤拡幅終了時における氾濫状況を図-6に示す。この段階では時間の経過とともに堤外地と堤内地の水位差は小さくなり、氾濫流は減少していった。

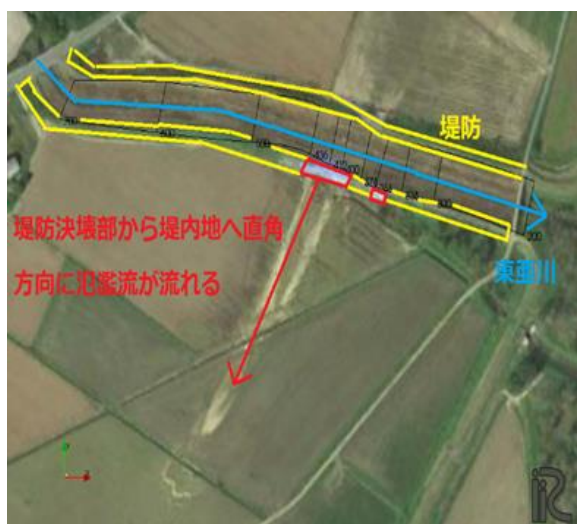


図-7 東亜川の被災状況

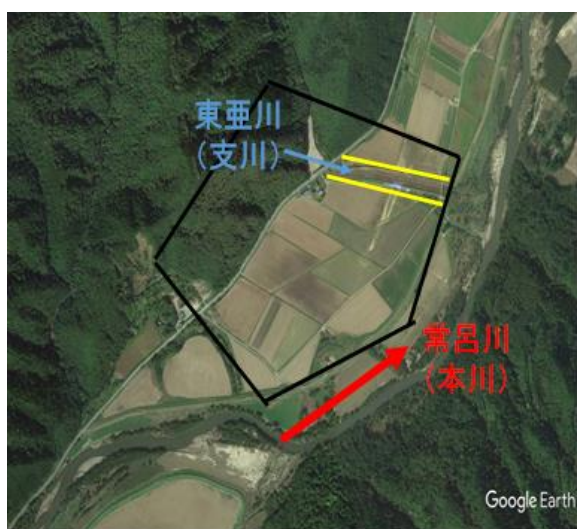


図-8 東亜川の計算領域

4. 東亜川の破堤

(1) 東亜川の被災概要

東亜川では計3箇所から越水が発生している。東亜川の右岸堤防ではおおよそ SP400~SP450 にかけて堤防の決壊が発生し、SP350~SP365 にかけて堤防の法尻崩壊が発生した。また、左岸では SP365~SP374

にかけて法尻崩壊が発生した¹⁰⁾。これらの右岸と左岸での堤防の状態を図-7に示す。河道特性は柴山沢川とほぼ同じであるにもかかわらず、破堤した際の氾濫流は堤防に対し直角であり、柴山沢川とは違った破堤機構であることが想定される。氾濫流の河道法線に対して終始直角方向を向いていた点が柴山沢川との相違点として挙げられる。

(2) 東亜川の計算条件

東亜川における計算領域を右岸側の堤内地全域は図-8に示すように、含めた領域とした。計算メッシ

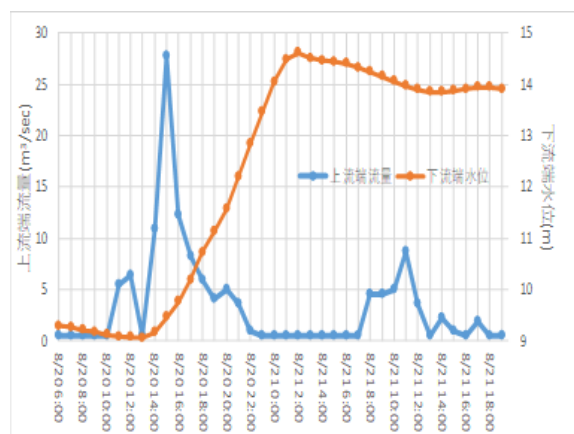


図-9 東亜川ハイドロと下流端水位

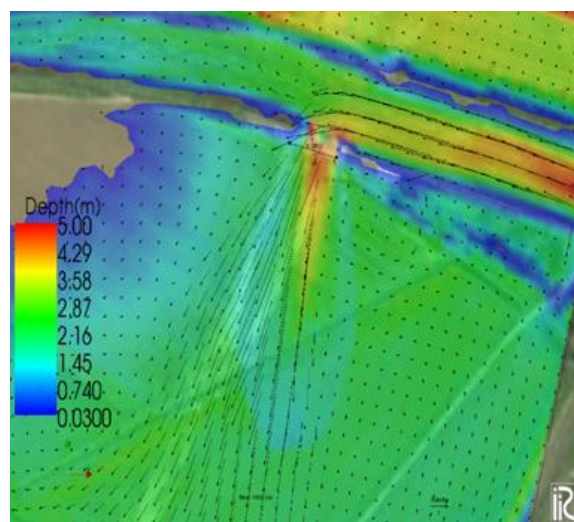


図-10 東亜川の堤防決壊後（堤防近傍）

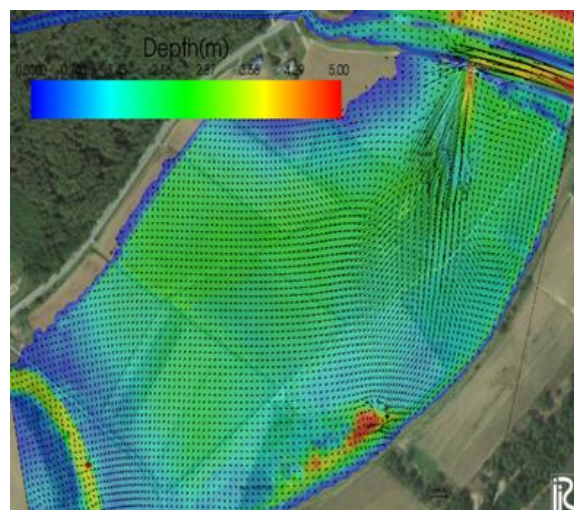


図-11 東亜川の堤防決壊後（全景）

ュは、縦横断方向にそれぞれ2mとしている。また、マンニング粗度係数、計算タイムステップ、および河道と堤体材料の粒径は、柴山沢川と同じとしている。上流端での境界条件である東亜川の流量ハイドログラフと常呂川本川の合流点水位である下流端水位を図-9に示す。東亜川の堤防の決壊条件も柴山沢

川と同様に設定しており、柴山沢川の破堤条件と同様に堤防天端高から越水した時点で縦横断距離 8m の幅で決壊するようにしている。

(3) 東亜川の計算結果

東亜川においても、柴山沢川と同様に堤防の決壊直後および拡幅終了時における氾濫状況を比較したが、堤外地から堤内地に流れていく氾濫流の向きは変わらず、堤防に対して直角方向に流れていく状態が継続した。堤防決壊直後の流況を図-10 に示し、その時点における堤内地全域における流況を図-11 に示す。また、河道内における堤防決壊直後の流れのベクトルを見ると、河道内の破堤部上流側では、順流方向に流れていることが確認できる。また、氾濫流は流速が柴山沢川に比較して大きいことも示されている。堤防に対して直角方向に流速の早い氾濫流が流れたことで堤防から離れた箇所にもまだ痕跡を残したものと考えられる。また、実現象と同様に越水箇所が右岸側で2箇所および左岸側で1箇所が堤防から越水していることが計算結果でも再現されている。

5. 両支川における破堤拡幅機構の相違要因

(1) 2 支川の破堤現象の相違について

前述までの計算結果より、氾濫流況について柴山沢川では下流から上流方向へ、東亜川では堤防法線に対してほぼ直角方向へと向かう流向であった。この破堤拡幅機構の相違について、図-6 及び図-10 より堤防決壊時における自流流量の相違であると考えられる。柴山沢川では堤防決壊後、自流がほぼ存在しない状況で本川背水の影響が大きく寄与していたと考えられる。一方、東亜川では堤防決壊後も、一定の自流が存在していた状況で、破堤拡幅には自流と本川背水の影響があったと考えられる。

そこで柴山沢川を対象に、自流と本川背水の影響の関係が破堤拡幅機構に与える影響について検討をおこなった。

(2) 自流流量の相違が破堤現象に与える影響

ここでは前述で行った柴山沢川の再現計算の条件のうち、上流からの自流流量のみを変えて計算を行った。具体的には自流流量ハイドロをピーク到達後も、ピーク流量を一定として通水を続けた。これより堤防決壊後も柴山沢川の自流が継続して流れているため、再現計算と比較することで、自流流量の相違が破堤拡幅現象に与える影響に着目できると考えた。図-12 に堤防決壊直後の水深及び流速ベクトルを示す。堤防法線に対して直角方向に堤外地から堤内値に氾濫流が存在しているが、これは再現計算と同様である。なお氾濫流流速は再現計算よりも速くなっており、これは自流流量が大きくなることで、河道から開口部へ供給される流量が増えることで、氾濫流量が増え流速も速くなっているためと考えられる。

図-13 に破堤拡幅が概ね終了した時点の水深及び流速ベクトルを示す。再現計算を行った図-6 と同時

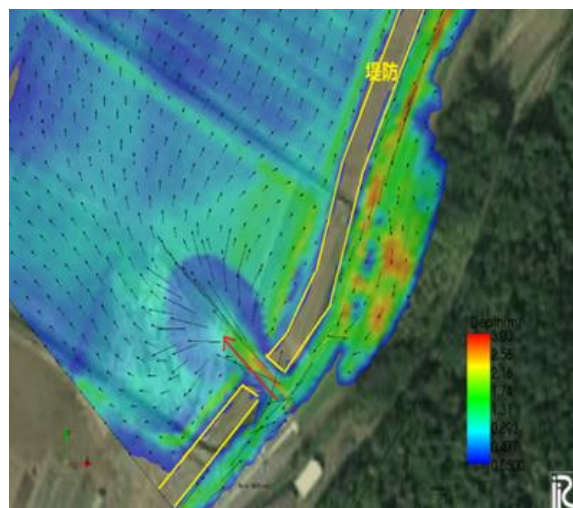


図-12 (柴山沢川) 決壊直後の氾濫流の挙動

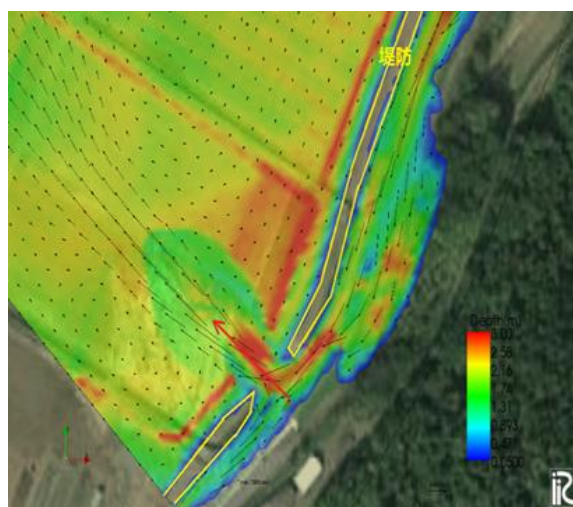


図-13 (柴山沢川) 拡幅終了時の氾濫流の挙動

刻であるが、再現計算では氾濫流向は下流から上流に向かっているが、本ケースでは堤防決壊直後と同様に堤防法線に対して概ね直角方向に向いている。これは堤防決壊後も上流からの自流の流れがあることで、本川背水により上流に向かう流れと破堤開口部付近の河道でぶつかりあうことで、正面越流破堤に近い形態になっていると考えられる。以上より背水区間の影響を受けるような支川では同一地点の堤防であっても、支川の自流の流量及び流量ピークの出現時間が異なることで、破堤拡幅機構に相違が見られることが明らかとなった。これは堤防決壊時の被害軽減対策技術を検討する上でも複数の条件を考慮する必要性を示唆するものである。

6. まとめ

以下に、今回の得られた知見を簡潔に示す

- ・破堤計算モデル「Nays2D Breach」⁶⁾により、背水現象を再現することができた。
- ・柴山沢川の破堤は自流が比較的に少なく、本川の背水影響を受けて氾濫流の挙動を堤体に対して直角

方向から上流側へと変化した。

- ・東亜川の破堤は自流が比較的に流れている状態であり、本川の背水影響も受けているため、時間経過とともに氾濫流は堤体に対して直角方向から変化はしないことが確認できた。

- ・支川の自流および本川の背水影響により、氾濫流や拡幅進行方向に影響を与えることが確認できた。

- ・破堤計算モデル「Nays2D Breach」³⁾により、決壊後の破堤拡幅の進行方向とともに氾濫流および河道内の流れの詳細を確認することができた。

参考文献

- 1) 小田川堤防調査委員会,
<http://www.cgr.mlit.go.jp/emergency/odagawateibochosa.htm>
- 2) 藤田裕一郎, 田村多佳志, 村本嘉雄: 河川堤防決壊口の拡大過程に関する実験的研究, 京大防災研究所年報, 第 27 号 B-2, pp.369-392, 1984.
- 3) 河川堤防の越水破堤現象のうち破堤拡幅過程に関する実験報告書: 国土交通省北海道開発局, 土木研究所 寒地土木研究所, 2012.
- 4) 辻本哲郎, 北村忠紀, 岸本雅彦: 砂質堤防の破堤口拡大過程のシミュレーションと破堤水理, 土木学会河川技術論文集, 第 8 巻, pp/31-36, 2002.
- 5) 島田友典, 渡邊康玄, 岡部博一, 岩崎理樹, 中島康博: 川幅と河床勾配が破堤現象に与える影響, 土木学会論文集 B1(水工学), Vol.73, No.4, I_1345-1350, 2017.
- 6) 国立研究開発法人 土木研究所 寒地土木研究所,
<http://river.ceri.go.jp/contents/tool/nays2d-breach.html>
- 7) iRIC, <http://i-ric.org/ja/>
- 8) 柿沼孝治, 飛田大輔, 横山洋, 井上卓也, 武田淳史: 千代田は鄭実験と数値計算モデルの開発, 寒地土木研究所月報, No.732, pp.10-19, 2014.
- 9) 柿沼孝治, 飛田大輔, 横山洋, 井上卓也, 武田淳史: 千代田破堤実験と数値計算モデルの開発, 寒地土木研究所月報, No. 732, pp. 10-19, 2014.
- 10) 常呂川堤防調査委員会, <https://www.hkd.mlit.go.jp/ab/tisui/v6dkjr00000006el.html>

(2019.4.2 受付)