札内川・戸蔦別川合流地点における堤防決壊と 氾濫原からの還流による被害特性の検証 VERIFICATION OF DAMAGES DUE TO LEVEE BREACHES AND BACK-FLOW FROM LANDSIDE AT THE CONFLUENCE

OF THE SATSUNAI AND TOTTABETSU RIVERS

石田義明¹・山口里実²・久加朋子³・岩崎理樹² 清水康行⁴・川村育男⁵・泉典洋⁶ Yoshiaki ISHIDA, Satomi YAMAGUCHI, Tomoko KYUKA, Toshiki IWASAKI Yasuyuki SHIMIZU, Ikuo KAWAMURA, and Norihiro IZUMI

¹正会員 北海道大学大学院 工学研究院 (〒060-8628 札幌市北区北13条西8丁目)
²正会員 博士 (工学) 寒地土木研究所 寒地河川チーム (〒062-8602札幌市豊平区平岸1条3-1-34)
³正会員 博士 (工学) 北海道大学大学院 工学研究院 研究員 (〒060-8628 札幌市北区北13条西8丁目)
⁴フェロー会員 博士 (工学) 北海道大学大学院 工学研究院 教授 (〒060-8628 札幌市北区北13条西8丁目)
⁵正会員 博士 (工学) (株) 建設技術研究所 (〒060-0003札幌市中央区北3条西3丁目1-6)
⁶正会員 博士 (工学) 北海道大学大学院 工学研究院 教授 (〒060-8628 札幌市北区北13条西8丁目)

A record-breaking heavy rainfall occurred in Hokkaido in 2016, and caused two levee breaches around the confluence of the Satsunai and Tottabetsu rivers, resulting in serious flood damages. We conducted field researches, image analysis of UAV photographs, and flood simulation to verify characteristics of the flood disaster. The flood caused by the levee breach because of main channel migration of the Tottabetsu river at the upstream of the confluence, and inundated landside areas, and subsequently returns to the Satunai river at the confluence by overflowing the levee of the Satunari river. The overflow causes high flow velocity within the inundated landside areas, leading the severe incision of the landside foundation and resulted in another levee breach at the confluence. It means that the high-risk sites of the levee breach would not depend only on the height of the levee in stony bed rivers in which landside could be significant eroded.

Key Words : Hokkaido heavy rain in 2016, flood disaster, levee breach, river erosion, flood simulation, Satsunai River, Tottabetsu River

1. はじめに

H28年,北海道では8月17日~8月23日の間に3個の台 風が上陸し、それに続いて8月29日から前線に伴う降雨 を挟んで8月30に台風第10号が接近した(図-1).これ より、道内では北海道東部を中心とした大雨が生じ、図 -1に示すとおり、8月29日~8月31日の累加雨量は戸蔦別 川上流観測所(帯広市)にて505mm,札内川ダム観測所 (中札内村)にて507mm,串内観測所(南富良野町)に て515mmと、観測史上最多の雨量が観測された.これよ り、十勝川水系の札内川左岸(帯広市中島町)にて図-2 のとおり堤防決壊による河川の氾濫が生じた.石狩川水 系空知川の他,十勝川,常呂川などの全道10水系26河川 でも基準水位を超えた出水となり,各地で河川の氾濫や 土砂災害が発生した.









図-4 戸蔦別川右岸の堤防決壊箇所 (2016/9/1 撮影)

札内川流域と支川の戸蔦別川流域では、台風第10号に 伴う大雨で累加雨量が既往最大を記録、一部で計画高水 流量を上回る大出水となった.この出水で図-2に示すと おりに戸蔦別川との合流地点で札内川左岸堤防が約 200m決壊し、一連堤防の戸蔦別川右岸が約300m決壊し た.決壊が確認された時点で図-3のように上流側決壊箇 所(戸蔦別川右岸)からの氾濫流が下流側決壊箇所(合 流地点)で札内川へ還流していた.堤内では、住宅2世 帯や倉庫、ソーラー発電施設、田畑等の約50haが浸水し、 下流側決壊付近では倉庫等の建物流失や大規模な基盤侵 食等、氾濫流が還流する際の高速流によると考えられる 被害が生じた. 今後の防災のためにも堤防決壊要因の解明が必須であ り、特に、急流河川の氾濫原管理を講ずる上で氾濫原の 流況特性や被害特性の把握が重要となる.本研究では、 急流河川の2箇所の堤防決壊とその氾濫流による被害特 性を検証することを目的とした.

2. 札内川・戸蔦別川合流地点の被害状況

(1) 戸蔦別川右岸における堤防決壊の要因と被災状況



図-5 戸蔦別川右岸堤防決壊箇所

(UAV空撮によるオルソ化画像) 戸蔦別川右岸堤防の決壊付近において残存している堤防の越流痕跡や痕跡水位などを調査した(図-4).残存 している堤防においては上下流側ともに越流の痕跡が見られず,また,堤外側の痕跡水位も堤防天端よりも低い ことが確認できたことから,ここでの決壊は,主流路の 移動に伴う側方侵食が要因であったと考えられる.図-5 に被災直後(9月2日)にUAVで空撮した画像をオルソ 化したものを示す.決壊箇所では,主流路が右岸側に大 きく蛇行していて,内岸側の砂州幅が本来の堤間幅 (180m)にまで達している状況がみられる.この砂州 の発達が,側方侵食や氾濫現象に大きく影響したと考え られる.

(2) 札内川左岸における堤防決壊の要因と被災状況

札内川左岸(戸蔦別川合流地点)においても同様に越 流痕跡や痕跡水位などを調査したところ,堤内の痕跡水 位は堤防天端標高とほぼ同じであることや,残存してい る堤防天端に氾濫水が越流した痕跡が確認された(図-6).また,越水が目撃された証言(第2回十勝川堤防調 査委員会資料³⁾)によると,8月31日0:00頃に堤内から 堤外への越水が目撃されている(帯広建設管理部からの 聞き取りによる).その後,8月31日5:20頃にはCCTVに



図-7 札内川左岸(戸蔦別川合流地点)決壊箇所 (UAV空撮によるオルソ化画像)



図-8 札内川左岸堤防決壊箇所の被災状況(図-7中の①)



図-9 札内川左岸堤防決壊箇所の被災状況(図-7中の2)

より堤防決壊を確認されている(帯広開発建設部).現 地の状況より決壊は,堤内から堤外への越流が要因で決 壊したと考えられる.つまり,堤内に一度湛水し,下流 側(合流地点)の堤防を越水した際に堤防が決壊したも のと考えられる.ここでの主な被災は,倉庫などの流失 (図-7中の①,図-8)と大規模な基盤の侵食(図-7中の ②,図-9)である.この2箇所において,特に高速な流 れが生じたと考えられる.

3. 数値解析による破堤・氾濫現象の検証

(1) 解析手法と条件

一連の氾濫現象を検証するために数値解析による再現 を行った. 河道と氾濫原および堤防を区別することなく 移動床として平面二次元河床変動計算を実施した.本計 算は、堤防を越流する流れに応じた河床変動を計算する ことで堤防侵食現象の再現を試みたものである.計算に はiRIC Nays2D4) を利用した.計算領域は、戸蔦別川河 道内および右岸側堤内を含む範囲を設定した.計算の上 流端は、戸蔦別川右岸堤防決壊箇所より1 km以上上流に 設定している. また、本計算では、戸蔦別川のみを対象 としており、札内川の流れは考慮していない. 地形標高 には、H18年に計測されたLP標高データ(帯広開発建設 部)を使用した. 河道内の護岸等については, 詳細な情 報が入手できなかったため、過去の航空写真や現地調査 より確認できた護岸箇所を固定床として設定した. 植生 域については、航空写真を参考に設定した. その他の計 算条件は以下の通りである.計算格子サイズは縦横断方 向ともに約4mとし、河床材料の設定は札内川の代表粒 径を参考に50mmの均一粒径とした.マニング粗度係数 は堤内外ともに0.030とし、ソーラーパネルの設置箇所 のみ0.100とし、崩落による側方侵食を考慮した条件で 計算を実施した.

解析は実績の破堤・氾濫現象の再現と、下流側破堤が 氾濫原の流況特性と被害特性に及ぼす影響に着目し、2

札内川

ケース実施した. すなわち, CASE-1は, 実績氾濫を解 析するものである. CASE-2では, 下流側の堤防を固定 床とし, 仮に下流側の堤防が強固で決壊が生じなかった 場合を解析するものである.

(2) 流量ハイドログラフ

戸蔦別川の流量ハイドログラフについては、戸蔦別川 を代表する中島橋水位・流量観測所(図-10)が8月30日 15:00で欠測となっているため、貯留関数法により推定 (帯広開発建設部)されているものを使用した.流域定 数K, P, Tlは、既定計画値とし、流域平均雨量(Σ R=395mm)は流域近傍の雨量観測所雨量をティーセン 法で算定して、単流域(A=304.4km²)の流出計算として いる.流出率については、札内川下流の基準地点の南帯 橋での実績流量の再現で得られているfl=1.00を適用した. 戸蔦別川の推算流量(図-11)は計画高水流量ピーク 1,700m³/sに迫る1,555 m³/sとしている.

(3) 解析結果と考察

a)実績氾濫の再現(CASE-1)

再現計算結果を図-12に示す.

図-12の①は、出水初期の氾濫開始前の状況である. 流量規模が約600m³/sを超えると戸蔦別川右岸の側方侵 食が急速に進行し、流量規模が約1,000m³/sに達する段階



で側方侵食が堤防位置まで進行したことが確認できる.

図-12の②は、戸蔦別川右岸から氾濫し始めた時点の 状況である.堤防が側方侵食によって流失することで氾 濫が生じた過程が再現されている.計算では流量ピーク より約3時間半前に氾濫が始まっている.

図-12の③は、氾濫流が堤内に湛水し、下流側(合流 地点)の堤防を越流し始めた時点の状況である.計算で は流量ピークより約2時間半前に越流が始まっている. っまり、上流側での氾濫開始(②)から1時間程度と比 較的短い時間で湛水し、下流側の堤防を越流し始めたこ とになる.目撃証言(第2回十勝川堤防調査委員会資料 ³⁾によると、8月31日午前0時(流量ピークの2時間前) に堤内から堤外への越水が確認されており、30分程度の ずれはあるものの、本計算結果はある程度この氾濫現象 を再現していると考えられる.

図-12の④は、堤内側からの越流によって下流側(合流地点)の堤防侵食が発生している状況である.越水開始箇所が前出の倉庫などが流失した被災箇所と一致することから、ここでの被災は越流初期に生じた高速流によるものと考えられる.堤内側からの越水の場合、堤防天端が最も低い箇所から越水が始まるため、その周辺で高速流が発生したことがわかる.

図-12の⑤は、流量ピーク時の状況である.図より、 越流初期とは異なる箇所(樋門付近)で侵食が進行して いることがわかる.これは、堤内に湛水していた水が流 れ出すと、標高が低く、その流れが集中する堤内排水路 に沿って流速が大きくなるためである.つまり、急流河 川のように氾濫原内においても高速流が生じやすいよう な場では、破堤の危険個所は堤防の高さのみでなく、氾 濫原内の基盤変動にも影響を受けることに注意する必要 がある.また、流量ピーク時の上流側の戸蔦別川右岸堤 防決壊付近では、河道内に大規模に土砂堆積が生じてい ることがわかる.本計算によると、流量ピーク時には全 流量の約4割が戸蔦別川から氾濫原に流れこむことが確 認され、氾濫流が比較的高速な状態で堤防内を通過し、 氾濫原内で基盤の大規模な侵食や堆積をもたらしたと考 えられる.

図-12の⑥は、出水後期の流量減衰後の状況である. 下流側(合流地点)では堤防決壊地点の侵食域が上流側 へ約350m拡大した.このことは、堤防の越流時にでき た洗掘坑がきっかけとなり、洗掘域が上流へと拡大した 可能性が計算結果から推測された.

以上のように,流量ピークよりも数時間前に上流側の 堤防が側方侵食により決壊し氾濫が生じたことや,その 氾濫流が比較的短時間で堤内に湛水した後,下流側の堤 防が越流により侵食・決壊した過程が検証された.

洪水後の河床・地盤の変動状況を図-13に示す.実測 の河床変動高は、H18年計測のLP標高データと洪水後の H28年10月計測のLP標高データとの差分を解析したもの である. ただし、洪水後のLP標高データは、すでに堤



図-12 札内川・戸蔦別川合流地点の再現計算結果 (CASE-1)



図-13 洪水後の河床・地盤の変動状況(実測, CASE-1)

防決壊箇所の復旧工事が完了していることから,洪水直後(9月2日)のUAV空撮と画像解析より被害直後の地 盤標高への復元処理を行った.図-13によれば解析結果 の河床・地盤変動高は,河床変動の傾向を概ね定量的に 再現できたことがわかる.

b)下流の堤防が強固で決壊しない場合(CASE-2)

札内川左岸の堤防を固定床とした場合(CASE-2)の 結果を図-14に示す.図-14よりCASE-1とCASE-2の浸水 深と流速を比較すると、浸水深が最大となる地点(図-14の①)では2.5mから5.0mに浸水深が増大した.浸水域 を比較するとCASE-2では、住宅域(図-14の②)で1m 未満の浸水深だったものがCASE-2では3m前後まで増大 するなど、被害が拡大した可能性が示された.一方、浸 水区域内の流速はCASE-2で下流部が貯留域となるため 流速は低減した(図-14の③). つまり、札内川左岸の



図-14 浸水深と流速の違い (CASE-1とCASE-2の比較)

堤防決壊が排水機能を有して被害の軽減効果に繋がった と考えられる.このことは今回検討の同一洪水(台風第 10号)で、2箇所の堤防決壊で氾濫被害を被った急流河 川の空知川上流(幾寅地区)⁵の堤防決壊の要因や氾濫 形態に類似するものと考えられる.

4. 結論

本研究では,札内川と戸蔦別川の合流部における一連 堤防の決壊要因と氾濫流による被害特性や被害進行過程 を検証した.得られた結果を以下に示す.

・上流側決壊は戸蔦別川の蛇行水衝部の側方侵食が要因 であった.また、河道内の土砂堆積により氾濫流量が増 大し、ピーク時には全流量の約4割程度が氾濫した可能 性が示された.

・下流側決壊は堤内からの越流による侵食が要因であり、 堤防天端最下地点での越流侵食開始時に高速流が発生し、 洗掘孔や建物流失が生じたことがわかった.しかし、そ の後、流量ピーク時には越流初期とは異なる箇所で堤防 侵食が進行した.これは、湛水していた水が堤防決壊に より流れ始めたことで、標高が低く、本来堤内の流れが 集中しやすい堤内排水路箇所へ向かって流速が大きく なったためである.つまり、急流河川における破堤の危 険個所は、堤防の高さのみでなく、氾濫原内の基盤高に も影響を受けることに注意する必要がある.

・最大2m以上の基盤侵食が下流側決壊口から上流へ約 350mにわたり生じていた.堤防の越流時にできた洗掘 孔がきっかけとなり、ここに高速流が流れ込んだ可能性 が考えられる.

謝辞:本研究は、2016年北海道豪雨災害調査団の調査の 一環として行われた.公益財団法人河川財団の河川基金 の助成(助成番号:28-5112-001,2017-5211-002)を受 けた.また、国交省北海道開発局帯広開発建設部から多 くの資料を提供していただいた.ここに謝意を記す.

参考文献

- 平成28年8月20日からの大雨及び台風第10号による出水の概要平成28年9月29日 北海道開発局建設部 河川管理課水災害 予報センター.
- 2) 国土地理院 地図・空中写真閲覧サービス
- 第2回 十勝川堤防調査委員会資料 平成28年12月19日 国土交 通省 北海道開発局帯広開発建設部.
- 4) iRICソフトウェア http:/i-ric.org/ja/.
- 5) 石田義明, 久加朋子, 清水康行: 2016年8月北海道豪雨にお ける空知川幾寅地区の氾濫被害に関する調査および要因検証, 土木学会論文集B1(水工学) Vol.73, No.4, I 1429-I 1434, 2017.

(2017.4.3受付)