河川技術論文集，第23巻，2017年6月

2016年北海道豪雨災害における空知川幾寅地区の破堤・氾濫要因の検討

THE STUDY ON 2016 AUGUST FLOOD DISASTER AND LEVEE BREACH AT THE SORACHI RIVER

奥田醇[1]・清水康行[2]・久加朋子[3]・岩崎理樹[4]・石田義明[5]・川村里実[4]
Jun OKUDA, Yasuyuki SHIMIZU, Tomoko KYUKA,
Toshiki IWASAKI, Yoshiaki ISHIDA and Satomi KAWAMURA

[1]学生会員　北海道大学大学院工学研究院（〒060-8628 北海道札幌市北区北13条西8丁目）
[2]フェロー会員 工博 北海道大学大学院工学研究院 教授（〒060-8628 北海道札幌市北区北13条西8丁目）
[3]正会員　博士(工学) 北海道大学大学院工学研究院（〒060-8628 北海道札幌市北区北13条西8丁目）
[4]正会員　博士(工学) 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3−1−34）
[5]正会員　北海道大学大学院工学研究院（〒060-8628 北海道札幌市北区北13条西8丁目）

There was a record-breaking rainfall in eastern Hokkaido during the end of August 2016. This rain and associated flood caused the levee breaches at two places and inundation disaster in Sorachi River in Ikutora region, Minami Furano town, Hokkaido. The field surveys and the aerial photographs taken after the flood showed that the inundation disaster was caused by the levee breach at the upstream reach of Ikutora, and this flood flow returned to the Sorachi river main channel from the floodplain, resulting in another levee breach at the downstream reach. Subsequently, we performed numerical simulations of the flood event and associated river bed evolution and levee breaches to investigate detail processes of this flood disaster. The results indicated that the upstream levee breach was caused by both bank erosion and overtopping flow and the downstream levee breach was caused by the overtopping flow.

Key Words : *flood disaster, levee breach, river channel migration, inundation disaster*

1．研究背景

2016年，北海道では8/17～8/23の間に3個の台風が上陸し，それに続いて8/29から前線に伴う降雨を挟み，8/30に台風第10号が接近した．これにより，道内では北海道東部を中心に記録的な大雨となった．南富良野町幾寅の観測所では，月降水量の既往最大値である2011年9月の343mmを大幅に上回る625mmを観測した[1)]．

今回の記録的豪雨により，石狩川の支流の一つである空知川の上流の幾寅地区（南富良野町）にて，2ヵ所の堤防が決壊し，河川の氾濫が生じた（図−1）．2016/8/31のAM4:41に堤防の決壊が確認された[1)]ことから，幾寅地区の氾濫は深夜から未明までの間に始まったと考えられる．

災害後の現地調査や航空写真から，決壊，氾濫の状況が明らかになりつつあるが，氾濫開始時刻が深夜であり，詳細な破堤の進行過程および氾濫流の挙動については不明である．石田らは空知川における氾濫状況において数値解析により検討[2)]を行っているが，流れのみの計算であり，流路変動や破堤と氾濫流の関係については明らかとなっていない．そこで，本研究では災害後の現地調査結果を整理すると共に，2次元河床変動解析より，破堤の要因について考察した．　具体的には，北海道豪雨災害調査団が撮影したUAVの写真および現地調査データを元に，破堤の要因を推定した．次いで，数値解析を用いて，上流側と下流側における破堤を再現し，破堤要因を明らかにすると共に，破堤時刻も推定した．

図−1　西側から見た空知川の破堤・氾濫区域の様子
（北海道開発局報告資料より）

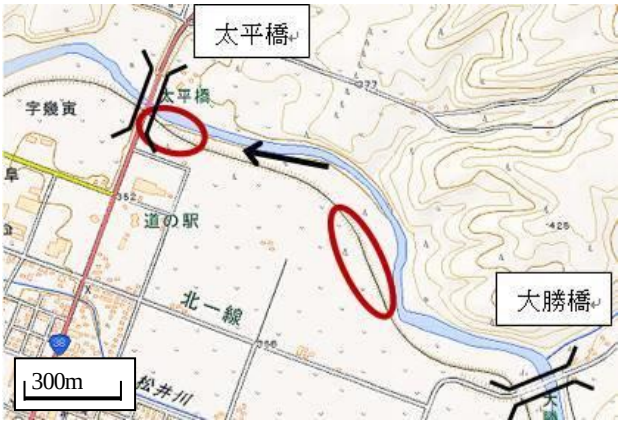


図-2　幾寅地区の破堤箇所
（北海道開発局報告資料より転載・一部加筆）

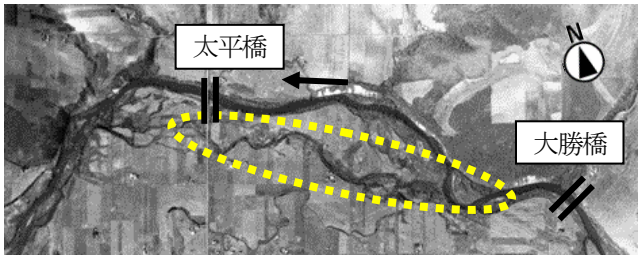


図-4 上：昭和23年の幾寅地区を流れる空知川の様子
（国土地理院 電子国土webより）
下：2014年の幾寅地区を流れる空知川（GoogleEarthより）

2．現地データからの検証

(1) 破堤・氾濫被害の概要

幾寅地区の破堤箇所を図-2に示す．大勝橋から500mほど下流地点の蛇行外岸側の水衝部と，国道が空知川を横断する太平橋よりすぐ上流の2ヶ所で堤防の決壊が発生し，これにより，堤内地である農地や市街地を含む約130ha [1] に浸水被害が及んだ．本論文では2ヶ所の破堤箇所のうち大勝橋に近い方を上流側破堤，太平橋すぐ上流の方を下流側破堤と呼ぶこととする．破堤した区間は上流側，下流側でそれぞれ約300m，150mとされている．

現地調査や航空写真より，幾寅地区の氾濫は，二箇所ある破堤地点のうち上流側がまず破堤し，氾濫流が堤内地を流下した後，堤内側から河道へ越水することで下流側が破堤したと推定されている．

(2) 流路の移動

UAVで撮影した破堤箇所付近の平面画像を出水前の

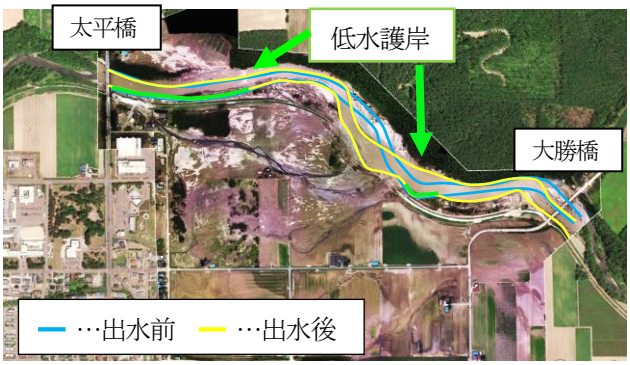


図-3 出水後の幾寅地区氾濫原の様子
（画像提供：寒地土木研究所，撮影日：2016/9/2）

図-5 決壊口上流側の様子
（撮影：北海道豪雨災害調査団 撮影日：9/1 12:10）

航空写真に合わせ，氾濫の跡や流路の移動を表したものを図-3に示す．またこの地域に堤防が築かれる前の昭和23年に撮影された航空写真を図-4に示す．堤内地へ流入した氾濫流は，図-4に示す旧河道の流路を中心として辿るように流下したことが分かる．また上流側破堤地点の周辺で，流路が左岸側に大きく移動し，堤防の水衝部が広がっていることが分かる．現地調査の写真や開発局の資料[3] より，上流側破堤地点より上流の水衝部と，下流側破堤地点を含む太平橋上流に，低水護岸が出水後も流出せず残存することが確認された（図-3，緑線）．

(3) 上流側破堤地点

図-5に上流側破堤地点の決壊口上流側の様子を示す．図-5より，決壊口上流側は裏法が洗掘され流出した跡が見られた他，現地調査より，破堤地点付近の堤内地には越流水により形成されたと思われる落掘れが見られた．また，法面の植生の状況から，破堤地点より上流約100mの範囲で越水の痕跡が確認された[3]．なお，上流側破堤地点の下流側の堤防裏法には，明瞭な越水の痕跡が見られなかった．上流側破堤地点の高水敷と植生の流出の状況を図-6に示す．図-6より，低水護岸がある区間の高水敷には大きな侵食の跡は見られなかったが，上流側破堤周辺の低水護岸が設置されていない区間の高水敷は，大きく侵食を受けほとんどの植生が消失していた．

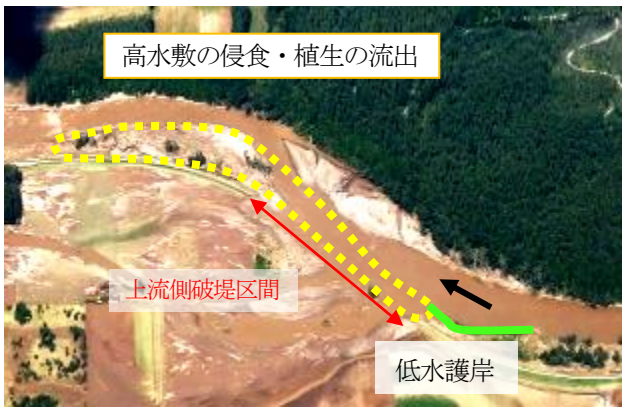


図-6 上流側破堤地点の高水敷と植生の流出
(国土地理院，撮影日 2016/9/1)

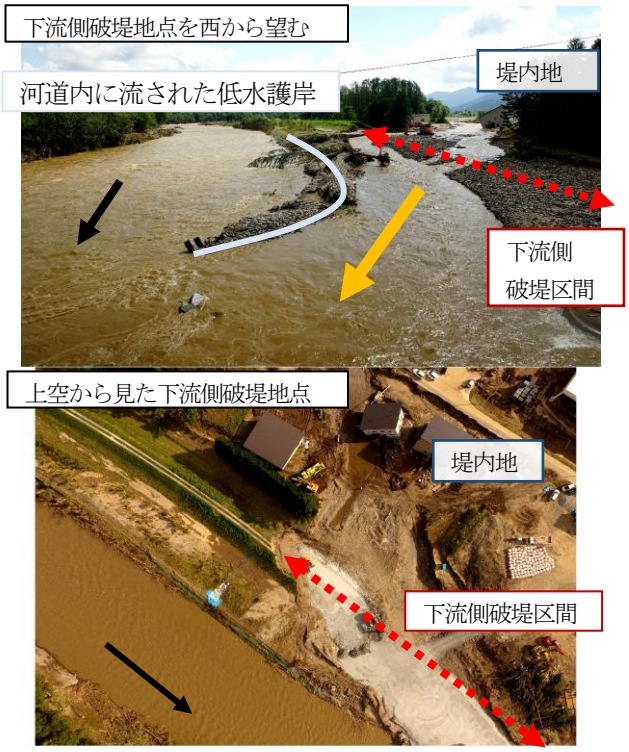


図-7 下流側破堤箇所周辺の様子
(撮影: 北海道豪雨災害調査団
撮影日: 9/1 10:31(上)，9/3 12:10(下))

北海道開発局の堤防調査資料 [3] によると，堤内地における噴砂の痕跡は確認されなかったことから，地盤内に水みちが通り堤防が落ち込み崩壊するパイピング破壊は原因とは考えにくいとされている．

(4) 下流側破堤地点

下流側の破堤地点は，すぐ下流に太平橋に繋がる国道38号があり，この道路の盛土と堤防で囲まれた水の溜まり易い地形であった．ここに上流側破堤地点から流下した氾濫流の一部が溜まり，その水位上昇による堤防越水が現地確認[3] された．下流側破堤地点を西に位置する太平橋から撮影した写真を**図-7**に示す．**図-7**より，写真中央部の低水護岸が河道側に流されていることと，破堤地点より上流の高水敷に大きな損傷が見られないことから，河道側の流れによる侵食ではなく，堤内地から河道へ向かう流れ(**図-7**，黄矢印)によって破堤したと推測される．

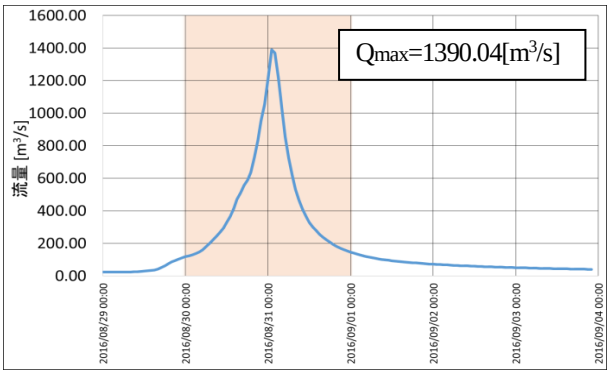


図-8 幾寅想定流量(開発局提供の暫定値)

表-1 計算条件

ケース	堤防への侵食作用の有無	低水護岸の有無
Case1	考慮	考慮
Case2	未考慮	考慮
Case3	考慮	未考慮
Case4	上流:考慮，下流:未考慮	考慮

3．数値解析による河床・流路変動，破堤の検証

(1) 数値解析の目的・条件

現地データより，上流側の破堤要因は越水および流路変動による堤防侵食の両方が推察されたが，破堤の詳細な進行過程や低水護岸等が破堤に及ぼした影響については不明である．そこで，本出水における空知川幾寅地区の破堤・氾濫要因を検討することを目的として，iRIC・Nays2DH [4] を用いた二次元流れと河床変動計算による数値解析を行った．数値解析計算結果から得られる破堤メカニズム，並びに時刻，箇所を現地調査結果等と比較しながら，2ヵ所の破堤が如何にして生じたかを検討する．

計算に用いた地形データは，横断測量データ(2016/1/26測量，北海道開発局提供)とLPデータ(2011年測量，北海道開発局提供)である．メッシュのサイズは平均して流下方向5m，横断方向2mとし，河道と氾濫域を含むように作成した．マニング粗度係数は，河道内を0.040，農地を0.060，市街地を0.020と設定した．河床材料の粒径は河床材料調査結果(北海道開発局提供)を参考に60mmとした．なお現地調査の写真(**図-5**)や堤防調査の報告資料[3] より，幾寅地区の堤防は礫混じりの砂を主として作られていたことが判明した．そのため，堤防は空知川の河床材料を使用して築堤されたものと判断し氾濫原と同じ粒径で解析を行った．計算流量には，幾寅地区より下流にある金山ダムの流域に対する分布型モデル(2段タンクモデル)より算出した推算流量(北海道開発局

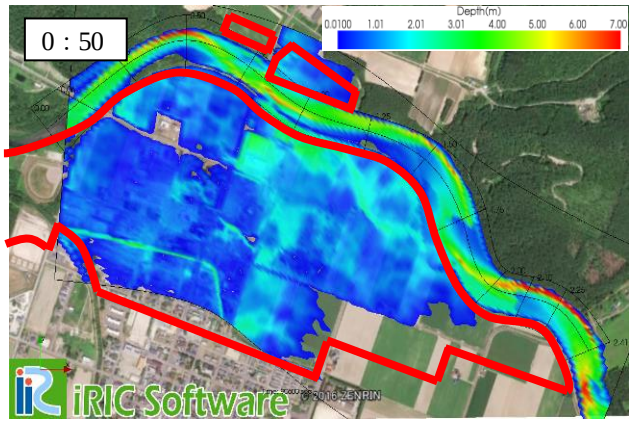


図-9 Case1の水深分布図

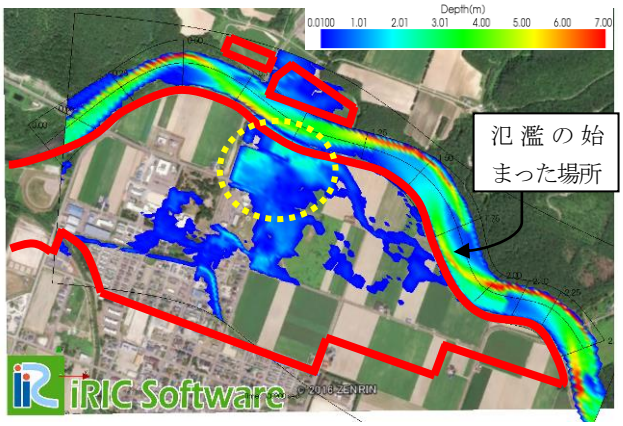


図-10 Case2の水深分布図

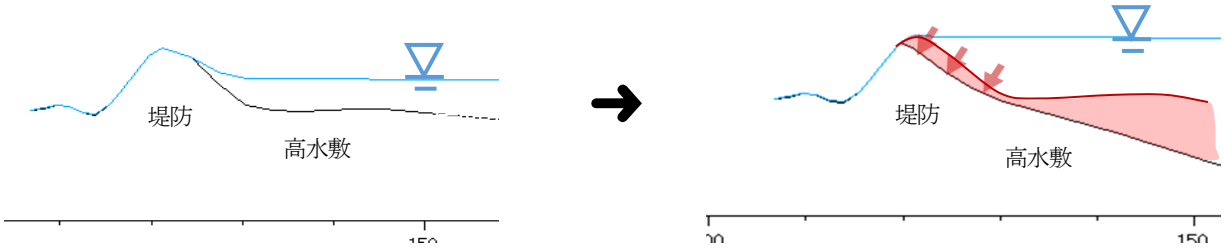


図-11 解析での上流側破堤過程

提供の暫定値[5])を用いた（図-8）．解析期間は2016/8/30の0:00から2016/8/31の23:00とした．

表-1に計算ケースを示す．Case1は，堤防にあたる格子セルを移動壁とし，隣り合うメッシュ間の河床高が安息角以下になるようにし，堤防へ侵食・洗掘が作用する状態にした．また，残存する2ヶ所の低水護岸（図-3）にあたるセルを固定させ，数値解析の結果と現地データとの整合性を確認するものである．Case2は堤防を固定壁として，堤防が丈夫で越水のみ生じるような条件下で，どの程度氾濫の規模が異なったかを調べるものである．Case3は，低水護岸が存在しなかった場合，Case1に比べて流路の移動や高水敷・堤防侵食の状況がどの程度異なったかを比較するものである．Case4は，下流破堤箇所にあたる堤防を固定壁とし，下流側破堤地点の堤防が強固であった場合，Case1と比べて堤内地から河道への越水がどれ程の規模で発生するかどうかを調べる．

(2) 数値解析の結果・考察

a) 氾濫の開始時刻・浸水範囲

Case1からCase4のいずれの場合においても，堤内地への水の流入・氾濫の発生が確認された．Case1，Case2，Case4では，8/31の0:20に，Case3では8/31の0:00に氾濫が始まった．Case1~Case4のいずれにおいても，氾濫の始まった場所は，実際の上流側破堤区間に近い位置の，蛇行外岸側の水衝部となった堤防区間であった．開発局の報告資料[3])によると，下流側堤内にて湛水を確認した時刻が8/31の1:52とされていることから，上流側の破堤時刻としては妥当なものと考えられる．

図-9に浸水範囲が最大の時の水深分布図を示す．水深のスケールは，濃い青が水深1m未満を，赤が7m以上を示している．また図-9に，開発局の報告資料[1])を参考にした実際の浸水範囲を赤枠で示している．図-9より浸水の範囲については概ね再現できたといえる．大勝橋付近の浸水範囲が実際より小さく表れているが，これはさらに上流の北海道管理区間からも氾濫が確認されており[3]，その氾濫流を考慮していないためと考えられる．

Case1では，氾濫流が下流側に流下し越水が始まった時刻は0:40であったが，下流側の破堤時刻が報告されているよりも早い時間となっている．これは堤防の締固め等が解析で正確に考慮されておらず，実際よりも破堤の進行が速く表現されたためと推測する．

図-10にCase2での堤内地への浸水範囲が最大の時の水深分布図を示す．Case1と比較すると，氾濫流量が少なく，浸水範囲も小さいことが分かる．Case2では0:50に氾濫流の一部が太平橋近くの国道と堤防で囲まれた地形（図-10，黄円）に溜まり始めたが，越水が起こるほどの量ではなかった．

Case3での下流側の越水開始時刻は，0:30とCase1とほぼ同時刻であった．Case1とCase3を比較すると，低水護岸の有無によらず浸水範囲は同程度であったが，上流側破堤箇所から流れ込む氾濫流量はCase1より多かった．

下流域の堤防を固定させたCase4では，氾濫流が下流側で湛水し，0:40に河道へ戻る方向の越水が始まった．越流水の流速は約2m/s，越流水深は最大50cm，越水範囲は太平橋上流域の約170mであった．浸水範囲に関してはCase1と同程度であった．越水時の堤内側と河道側の水位差は約2mで，約1時間この水位差のまま越水が続いた．以上から，上流側破堤部からの氾濫流の大半は，

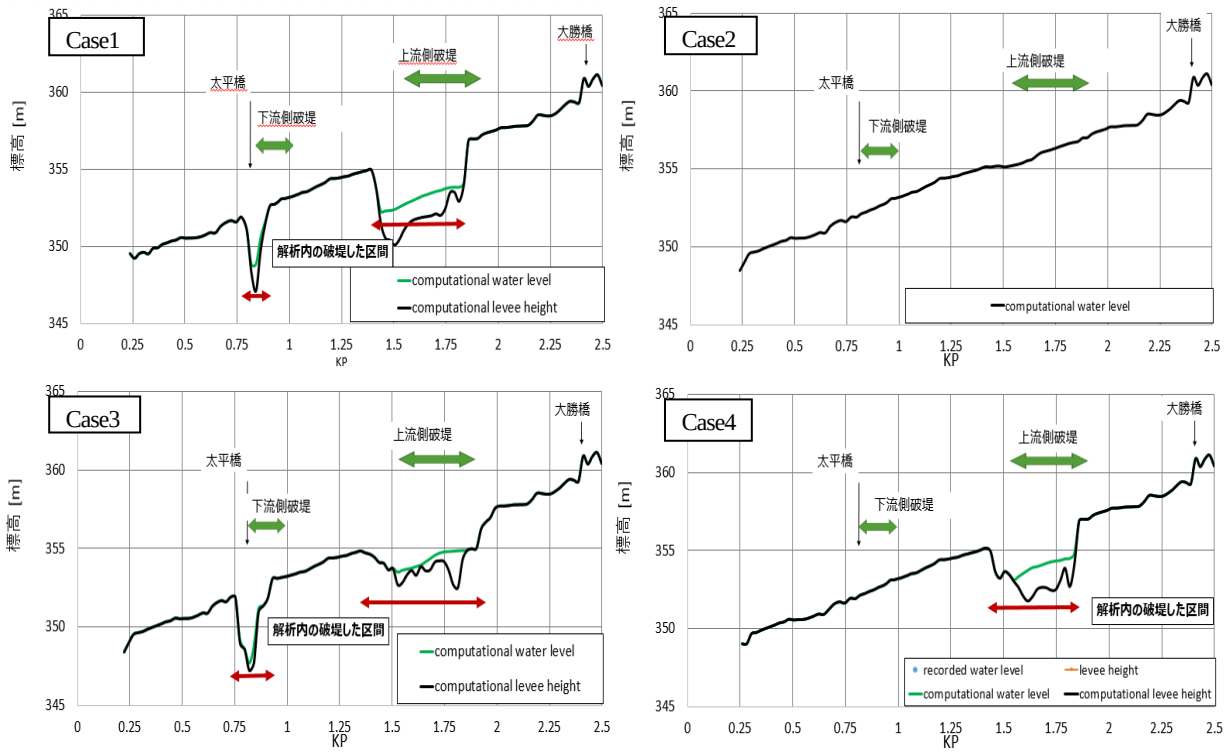


図-12 解析内の破堤区間

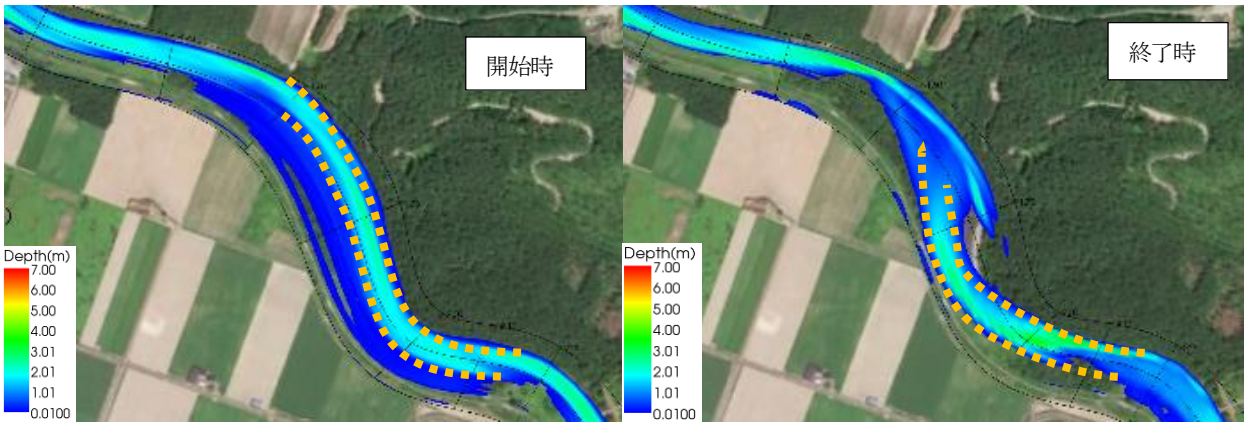


図-13 数値解析(Case1)での流路の移動

下流側破堤部付近で空知川本川に戻る様子が再現され，現地調査からの推察通り，下流側堤防は越流水により破堤したと考えられる．

b）破堤の進行過程

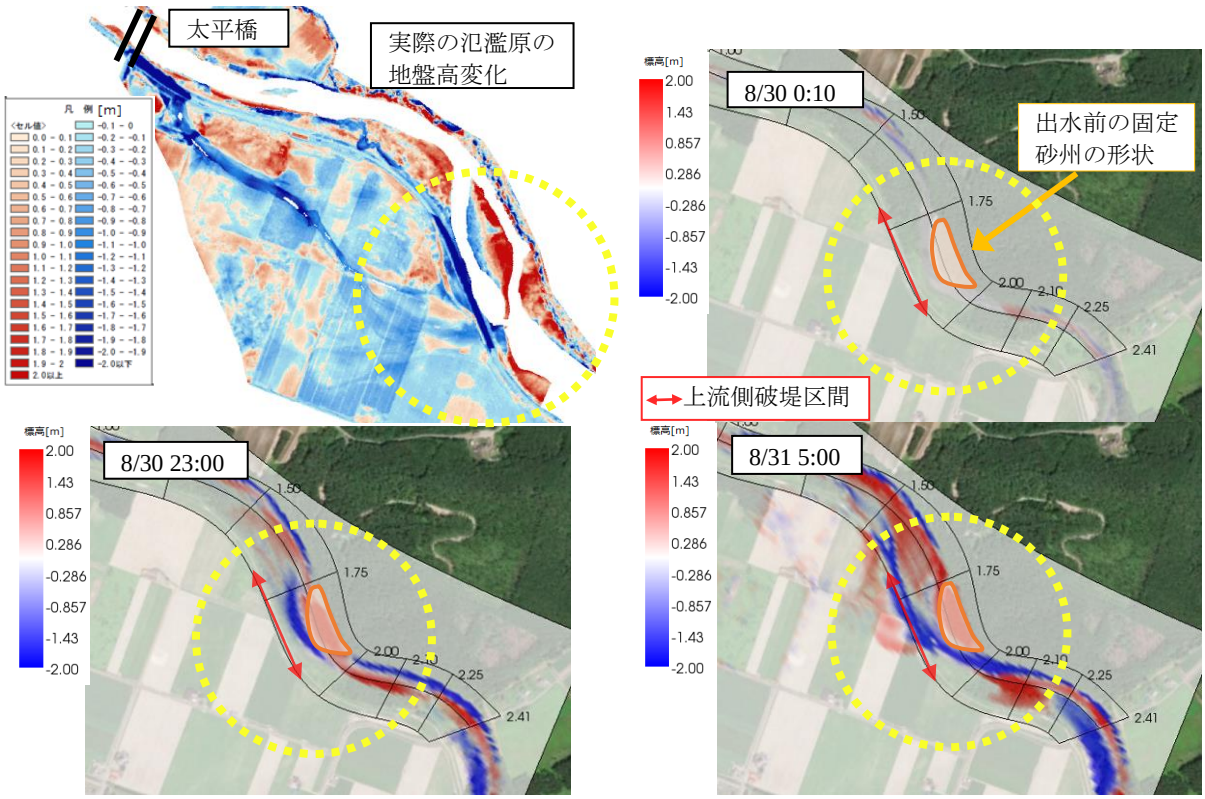
数値解析より，氾濫が開始する前後で堤防高や横断形状を比較した所，水位上昇に伴い，水衝部にあたる堤防が河岸侵食を受けると共に，その箇所から越水が発生し，破堤した(**図-11**)．また下流側に氾濫流が到達し，太平橋上流にて河道へ戻る方向の越水が始まると，その越流水により堤防破堤に至った．

c）破堤位置と範囲

解析終了時の河道縦断方向に沿った左岸堤防高と計算水位の縦断図を**図-12**に示す．なお黒線が格子の左岸堤防高，緑線が計算水位を示している．また実際に破堤した区間を緑の矢印で，解析中での破堤区間を赤の矢印で示している．**図-12**より，解析内での破堤の範囲はCase1では上流側約350m，下流側約100m，Case3では上流約500m，下流約250m，Case4では上流約350mであった．Case1の縦断図より，解析内の破堤区間と実際の破堤区間がほぼ等しく，破堤の位置や範囲について概ね再現できたといえる．Case3の縦断図より，現地調査にて確認された2ヵ所の低水護岸が無かった場合，Case1と比べて上流側破堤区間が上流方向に約150m延び，下流側の破堤範囲も約150m広がって，実際よりも広い範囲で破堤していたことが分かる．このことから，確認された低水護岸，特に上流側水衝部に設置されていた護岸は，今回の破堤・氾濫の被害を軽減したと言える．

d）流路の移動

図-13に，Case1解析開始時と終了時の上流側破堤地点付近の水深分布図を示す．また，**図-14**に被災前後に取得した地形データから得た河床・氾濫原の地盤高の変化と，Case1における地盤高変化の時系列を示す．**図-14**は土砂の堆積により出水前後で標



図−14 Case1と実際の氾濫原地盤高変化の比較

高が上昇した範囲を赤色で，洗掘や侵食により低下した範囲を青色で示している．**図−13**によると，出水前後で上流側破堤箇所付近の低水路が左岸に移動したことが分かる(**図−13**，黄色の点線)．図−14より河床変動量の時間変化を確認すると，破堤・氾濫が開始するより前の8/30の23:00の様子より，上流側破堤箇所近くの蛇行内岸側で砂州が成長し，流路が外岸側へ移動したことが分かる（**図−14**の黄色の円)．この流路の横方向への移動により，左岸堤防の水衝部が移動して堤防まで達し，堤防の侵食とそれに伴う破堤をもたらしたと考えられる．

これより，下流側破堤の，上流側の破堤と異なり，堤内地側から堤外地(空知川本川)へと越水する流れが主要因であったことが示された．

上流側破堤区間では，出水前の蛇行部頂点付近等に低水護岸が設置されていた．数値解析によると，低水護岸が存在することで破堤範囲が狭くなる状況が再現された．このことから，上流側水衝部に設置されていた護岸は今回の破堤・氾濫の被害をある程度軽減する役割を果たした可能性があると考えられる．

4．まとめ

2016年8月，記録的豪雨により，石狩川の支流の一つである空知川の上流の幾寅地区(南富良野町)にて，2ヵ所の堤防が決壊し，河川の氾濫が生じた．本研究では本地区における破堤の要因を考察することを目的に，災害後の現地調査結果を整理すると共に，2次元河床変動解析を実施した．数値解析では，現地調査より得られた2ヵ所の破堤の位置や範囲，堤内地の浸水範囲をある程度再現できた．

解析結果によると，蛇行部に位置する上流側破堤地点では，流量が増加するに伴い蛇行内岸側の固定砂州が成長し，流路が外岸側に移動することで堤防全体が侵食されると同時に越水が生じ，これら両方の作用により大規模な破堤が引き起こされたと考えられた．一方，下流側破堤については，上流側破堤部から流下した氾濫水流が堤内地に湛水し，堤防を越水する形で空知川本川に戻る状況が再現された．

謝辞：本研究は，土木学会水害調査報告団の調査一環として行われたものである．公益社団法人河川財団より研究資金の助成(助成番号:28-5112-001)を受けた．　また，多くの行政機関や組織・民間会社からデータ提供などの便宜を図って頂いた．ご協力いただいた皆様への謝意をここに示す．

参考文献

1) 平成28年8月20日からの大雨及び台風10号による出水の概要, 北海道開発局，平成28年9月30日
2) 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.
3) 堤防調査委員会資料，北海道開発局 空知川堤防調査委員会
4) iRICソフトウェア(http://i-ric.org/ja/)
5) 金山ダム[再現計算](分布型モデル)，北海道開発局

(2017. 4. 3受付)