

Flood analysis in the Asuwa River due to the heavy rainfall

メタデータ	言語: jpn 出版者: 公開日: 2017-10-05 キーワード (Ja): キーワード (En): 作成者: メールアドレス: 所属:
URL	http://hdl.handle.net/2297/14437

福井豪雨における足羽川山間渓流域の洪水氾濫解析

榎田真也¹・石田 啓¹・玉井信行²

2008年9月16日受付, Received 16 September 2008
2008年11月21日受理, Accepted 21 November 2008

Flood Analysis in the Asuwa River due to the Heavy Rainfall in Fukui

Shinya UMEDA¹, Hajime ISHIDA¹ and Nobuyuki TAMAI²

I. はじめに

2004年北陸, 2006年九州豪雨等の近年の水害には, 計画高水流量を超える大出水により, 溢水または破堤氾濫による浸水に伴う人的被害や家財の損害に加えて, 山間渓流部における橋梁および周辺河川施設が多様な形態で被災する事例が報告されている^{1,2,3)}。山間渓流域では下流域に比べ河川整備が遅れ, 計画未満の脆弱な河道に架橋されている場合が多いため, 洪水外力が橋桁に直接作用して橋梁が流失したり, 橋脚周辺河床が洗掘されて倒壊や沈下したり, 橋梁本体は残ったものの橋梁を迂回する流れにより側方侵食が生じて堤防や取付け道路などの周辺施設に被害が拡大したりして, 災害復旧に多大な労力と時間を要している。平成16年福井豪雨災害においては, 九頭竜川水系足羽川下流域の福井市街地において破堤・溢水氾濫による家屋等の甚大な浸水被害を生じるとともに, 山間部の谷底平野を流れる中流域では, 道路橋が2本, JR越美北線の鉄橋5本が流出, その他の多くの橋梁周辺で破堤, 護岸侵食など様々な被害を受けた⁴⁾。被災から4年経過した現時点では, それらの災害復旧は完了しつつあるものの, 山間渓流域の河積拡大や橋梁架け替え等を行う災害復旧事業の一部はまだ進行中である。洪水時に橋桁が浸水する

ことや, 橋梁に流木が堆積し流水阻害率が急激に増大することは設計段階では考えられていない異常事態であり, こうした事態に関する分析と対策が要求されている。

本研究においてはこのような問題意識から福井豪雨における足羽川山間渓流域の橋梁および周辺河川施設の被害状況を分析するとともに, 橋梁被害の著しい区間(足羽川中流15.8km~21.8km)を対象に洪水氾濫解析を実施し, 山間渓流域における洪水氾濫流の特性を明らかにする。

なお, 本論文の図面や写真を拡大カラー化したweb版原稿を金沢大学学術情報リポジトリに掲載する。必要に応じてこちらにも参照されたい。

<http://hdl.handle.net/2297/14437>

II. 足羽川中流域の橋梁および周辺の被災状況

1) 谷底平野部における被災状況

2004年7月18日梅雨前線の停滞に伴い発生した福井豪雨災害では, 足羽川下流域の福井市内中心部の破堤氾濫により11,000世帯以上が床上・床下浸水するなどの多大な被害とともに, 足羽川中流域の旧美山町周辺の谷底平野においても溢水・破堤氾濫などにより家屋, 農地および河川施設に甚大な被害が発

¹金沢大学理工研究域環境デザイン学系 〒920-1192 石川県金沢市角間町 (School of Environmental Design, College of Science and Engineering, Kanazawa University, Kakuma-machi, Kanazawa, 920-1192 Japan)

²金沢学院大学大学院経営情報研究科 〒920-1392 石川県金沢市末町10番地 (Graduate School of Business Administration and Information Science, Kanazawa Gakuin University, Sue-machi, Kanazawa, 920-1392 Japan)



(a) 被災前（2003年撮影，国土地理院）



(b) 被災後（2004年7月撮影，国土地理院）

図1 2004年福井豪雨前後の空中写真の比較（足羽川中流高田大橋周辺）。

生じた^{1,2,5}。市街地付近の流下能力 $1300\text{m}^3/\text{s}$ に対して天神橋地点の実績流量は約 $2400\text{m}^3/\text{s}$ に達した⁶。計画規模を大きく上回る大出水により、河川水位は多数の橋梁付近で桁高以上になり、非常に激しい洪水流を受けたため、足羽川中流域においてJR越美北線の鉄道橋5本（第1・3・4・5・7橋梁）および道路橋2本（田尻新橋・河原橋）が流失するなど激しい被害が生じた。また、破堤および堤防溢水によって、土砂や流木を含んだ氾濫水が山間部の谷底平野に広く侵入したため、家屋の損壊および浸水した家屋、農地や道路などに多量の土砂が堆積するなどの被害が生じた。

図1は、足羽川天神橋水位観測所から約3.5km上流にある旧美山町高田地区・市波地区周辺の被災前後の空中写真を比較したものである。山間部の河道は蛇行して兩岸に谷底平野を形成しているが、蛇行し

た河川の兩岸には水田が広がり、谷底平野でも山際付近の標高の比較的高いところに古くからの集落が分布する。被災後の写真から、氾濫流に伴う土砂の堆積は河道湾曲部の内岸側で顕著であり、湾曲部内岸をショートカットする流れが発生したことが分かる。

図2は、足羽川第6鉄橋から下新橋付近の浸水範囲と橋梁および河川施設の被害概要を示す。図中の矢印は土砂の流入方向を示す。大出水により河道周辺の低地にある水田や集落は広い範囲にわたって浸水した。また、第4鉄橋付近の右岸堤防および高田大橋直上流の右岸堤防は決壊し、多量の土砂が背後の堤内地に流入したため、土砂堆積による著しい被害が生じた。4・5鉄橋の上流に位置する河道湾曲部では、洪水流が内岸の堤防を乗り越えたため、多量の土砂が堤内地に運び込まれた。

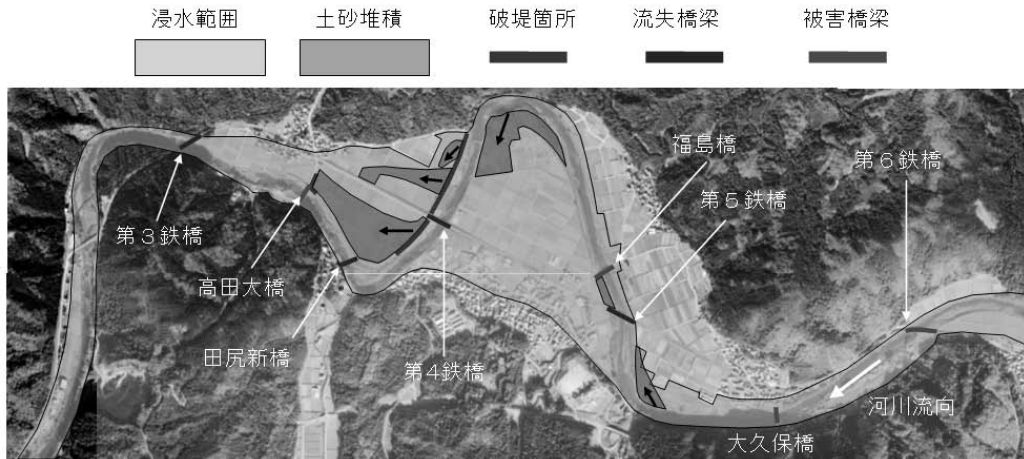


図2 足羽川第6鉄橋から第3鉄橋付近の浸水範囲と橋梁被害（国土地理院空中写真上に加筆）.



(a) 出水時（2004年7月18日午前，地元住民撮影）



(b) 平水時（2004年8月14日，著者撮影）

図3 出水時と平水時の下新橋下流における流況比較.

図3は下新橋下流の出水時と平水時のようすを示すもので、出水時の流れは平水時に比べて水位が非常に高く、流木やゴミなどが大量に流出したことが分かる。多くの橋梁地点で洪水水位は桁下以上に達し、対象区間では鉄道橋3本（第3、4、5橋梁）および道路橋1本の橋脚が倒壊し、橋桁が流出するといった甚大な被害が生じた。図4に示す倒壊した田尻新橋は長さ約57m、幅員約3mの小規模な道路橋であった。国道364号が通る幅員約8.4mの高田大橋は流出を免れたが、図5に示すように右岸上流部の堤防および右



図4 田尻新橋の被害状況（2004年7月22日，著者撮影）.

岸取り付け道路が破壊されるなど周辺施設に大きな被害が及んだ。堤防の決壊によって、第4鉄橋上流右岸側の堤内地の水田には直径約50cmに達する大きな石や土砂が図6(a)のように大量に残されたり、農道のアスファルト舗装が剥離して図6(b)のように水田に堆積したりしたことから、非常に激しい氾濫水の流入があったことがうかがえる。なお、足羽川中流域の土砂堆積状況に関しては服部・山本⁷⁾に詳しい。

図7に、第4鉄橋から高田大橋付近の右岸堤内地における氾濫流の主方向を推定した結果を示す。黒矢印は表層土砂の堆積状況や砂漣の形状から、白矢印は稲の倒伏や流木などの堆積状況から推定した方向であり、例えば図8に示すような、当時の現地調査、空中写真および映像・写真等の記録を基にしている。鉄道の盛土に空けられた2箇所のトンネルから、4鉄橋上流右岸に侵入した氾濫水が流入するとともに、4鉄橋下流の破堤部から多量の氾濫水が水田を横切って、高田大橋の取り付け道路に向かって流下した



図5 高田大橋周辺被害状況（2004年7月19日福井新聞社撮影）。



(a) 水田に堆積した礫や土砂（著者撮影）



(b) 堤内地の農道舗装の剥離（著者撮影）

図6 第4鉄橋上流右岸堤内地の被災状況。

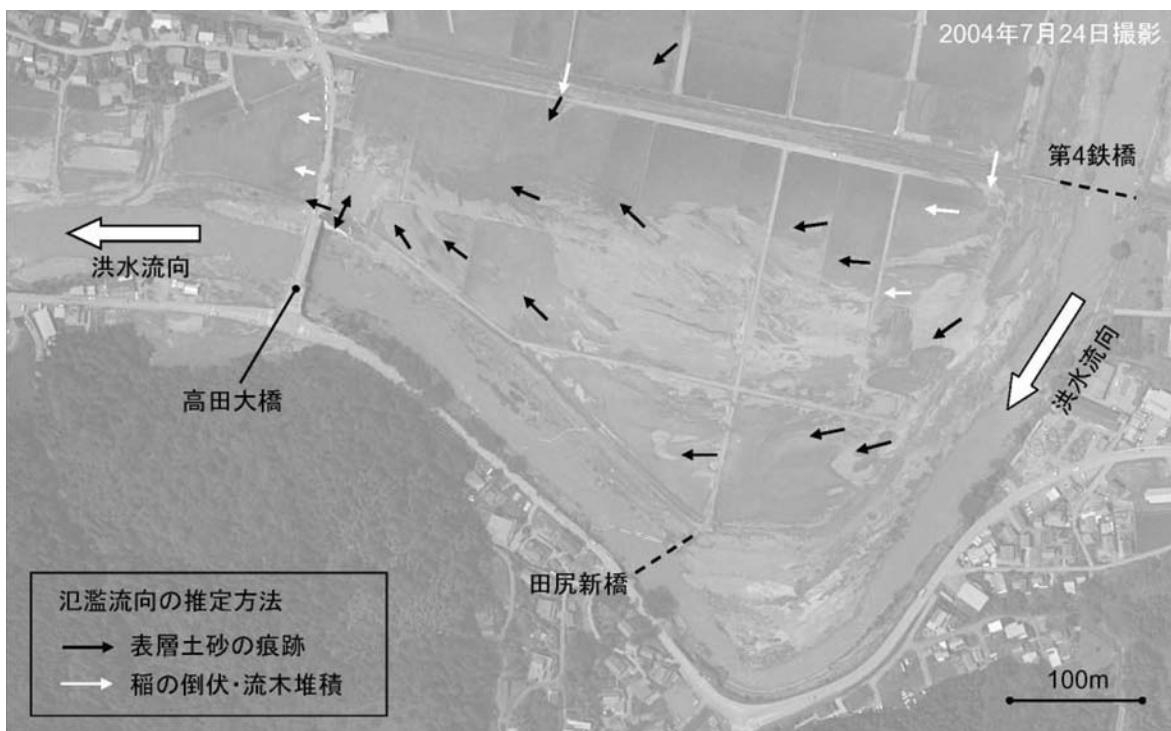


図7 足羽川第4鉄橋・高田大橋右岸の氾濫流向の推定（国土地理院空中写真上に加筆）。



図8 足羽川第4鉄橋下流右岸堤内地の稲の倒伏および土砂の堆積状況（2004年7月22日，著者撮影）。

と考えられる。取付け道路は水田より約2～3m程度高い盛土であったが，氾濫水が多量であったため，氾濫水はさらに道路盛土を越えて下流側に流れていたことが樹木の倒伏状況から分かった。

2) 第4鉄橋・高田大橋周辺の洪水氾濫と被災過程

第4鉄橋下流および高田大橋上流の破堤部周辺における洪水氾濫過程と橋梁および周辺施設の被害の特徴を詳述する。図9は，洪水時のピーク流量発生時刻付近の18日11時半から16時頃までの第4鉄橋付近の洪水氾濫状況を示すものである。図中の矢印は河川流の向きである。図9(a)はピーク流量付近の時刻11時30分頃の洪水氾濫状況であるが，橋脚は既に流失している。第4鉄橋倒壊の主な原因は橋脚周辺の局所洗掘であると推定されている²⁾。橋梁の上流左岸側からは堤内地の氾濫水が河道に戻り，右岸側では河川水が堤防を越流し，堤内地は既に多量に浸水している。右岸堤防の背後域の浸水深は約2m以上に達し，右岸堤内地の最大浸水量は354,000m³程度と算定された。図9(b)の12時10分頃の河川水位は11時30分より1m程度低下しており，最高水位の時刻は11時30分に近いことが分かる。16時過ぎの減水期の状況を示す図9(c)から，第4鉄橋下流右岸の破堤区間のうち，下流端付近の堤内地において，堤防背後の舌状の地盤侵食や土砂の堆積が著しいことが分かる。図9(d)からは，下流右岸の堤内地に，4鉄橋右岸寄りの流失した橋桁が氾濫水や土砂とともに侵入したことが，図9(e)からは，土砂は氾濫水とともに堤内地に侵入し，破堤部から高田大橋の取り付け道路付近まで広範囲に堆積し，特に堤内地の中央部に大量の土砂が厚く堆積したことが分かる。

次に，第4鉄橋周辺の洪水氾濫による被害状況を図10に示す。右岸堤防は第4鉄橋の直下流から約200mにわたって崩壊し，堤体は根元から消滅した。堤体



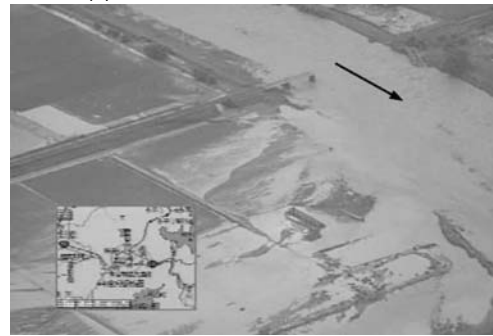
(a) 11時30分頃（福井新聞社撮影）



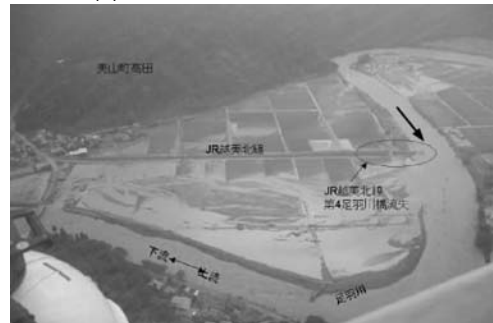
(b) 12時10分頃（福井新聞社撮影）



(c) 16時9分頃（国土交通省）



(d) 18日午後（国土交通省）



(e) 18日午後（国土交通省）

図9 足羽川中流域の第4鉄橋付近の洪水氾濫状況。

材料であった土砂および表のりに使用されていたと考えられる直径10から20cm程度の礫は堤内地に散乱した。図10(a)の下流上空からの写真より、礫は破堤区間の下流寄りに集中的に堆積したことが分かる。橋桁は主軸が河道法線から約25度傾いた状態で停止しており、土砂堆積や作物の倒伏状況から推定される氾濫流の主方向からは約70から90度傾いていることが分かった。図10(b)と(c)に見られるように、橋桁の河道側には表層に礫が分布し、背後の堤内側には土砂が分布した。背後の土砂は、破堤直度に流入・堆積した土砂がその後に入侵した橋桁によって掻き集められた部分と、橋桁は堤内地に停止した後も氾濫流にさらされており、氾濫流とともに流入した土砂が橋桁の後流域に堆積した部分があると考えられる。

第4鉄橋下流右岸の高水敷の一部が異常に侵食され、大きな水溜りができていることが図10(d)や(e)より確認できる。その場所は、右岸側の鉄道の線路が曲げられた軌道の延長線上にある。異常侵食された範囲の長径は流失桁の長さの約2から3倍、短径は桁幅の約3から6倍程度の大きさである。これらの状況から、倒壊した橋桁が一時的に高水敷上に留まり、洪水流に対して大きな障害物となり、その周辺が局部的に侵食され、その後、右岸堤防が決壊して、橋桁は氾濫水とともに堤内地に押し流されたと考えられる。また、前述した堤内地盤の侵食や礫の堆積状況から、右岸堤防の決壊は破堤区間の下流寄りの場所から始まったと推測される。この破堤開始場所は、高水敷の侵食箇所の末端付近に位置することから、高水敷の異常侵食が破堤現象に影響を及ぼした可能性が高いと考えられる。

次に、道路橋である高田大橋周辺の洪水氾濫状況および被災状況を図11および図12に示す。図11(a)の撮影時点は最大水位に到達する前の増水期の段階であり、高田大橋の橋桁の前面に流れが一部作用するものの冠水していないが、対岸の右岸堤防は冠水して、洪水は堤防を越流していると推察される。図11(b)は減水段階の洪水氾濫状況を示すものであるが、橋の直上流右岸の堤防が決壊し、破堤区間のさらに上流の堤防の背後に多量の土砂が堆積し、破堤部背後の堤内地には堆積土砂の段差が確認できる。被災後の図5などから、橋梁本体の損傷は比較的小さいが、直上流の堤防が決壊し、さらに右岸側の国道364号線である取付け道路の盛土が侵食され、道路が寸断された。破堤部付近の水みちの痕跡から、右岸堤内地に溜まった氾濫水は、河川水位の低下に従っ



a) 第4鉄橋下流上空より（国際航業株式会社）



(b) 堤内地に侵入した橋桁（河道寄りから、著者撮影）



(c) 堤内地に侵入した橋桁（堤内地寄りから、著者撮影）



(d) 下流右岸の高水敷の侵食と破堤の状況（著者撮影）



e) 下流右岸の堤内地の土砂堆積状況（著者撮影）

図10 足羽川中流域の第4鉄橋付近の被災状況。



(a) 18日午前（推定）上流左岸より撮影⁸⁾



(b) 18日16時8分頃右岸上空より撮影⁸⁾

図11 2004年福井豪雨による足羽川中流域の高田大橋付近の洪水氾濫状況.

て、この破堤部から徐々に排水されたと推測された。図12(a)から、破堤の背後域の堤内地には、堤防の表のり護岸に使用されていた礫が堆積し、礫の堆積面と堤内奥側の土砂の堆積面には段差があることが確認できる。また、図12(b)の破堤点上流に残った堤防の被災状況を示した写真から、堤防の表のり肩や天端部分が顕著に侵食されたことが確認できる。これらの状況から、高田大橋付近の洪水氾濫過程は以下のように推測される。河川水位が上昇し、高田大橋が冠水するとともに洪水流は両岸に溢れ、その越流水によって橋の直上流から約20mの範囲で右岸堤防が決壊し、左岸護岸は激しい洪水流により側方侵食を受けた。右岸堤防の決壊によって、洪水流が堤内地に流入した際に、破堤点近傍の地盤を侵食するとともに、堤体材料の土砂や表のり護岸に使用されていた礫が堤内地に侵入し、堆積した。破堤後、河道からの洪水氾濫流が橋を迂回して取り付け道路に直接作用して、橋台背後が侵食された。減水期になると、堤内に溜まっていた氾濫水が破堤部から河川に排水されたと考えられる。



(a) 22日上流左岸より（著者撮影）



(b) 22日上流左岸より（著者撮影）



(c) 22日下流左岸より（著者撮影）



(d) 22日上流左岸より（著者撮影）

図12 2004年福井豪雨による足羽川中流域の高田大橋付近の被災状況.

Ⅲ. 氾濫原と河道の流れ

1) 解析方法および解析条件

非定常2次元の浅水流方程式を有限体積法により数値解析した。基礎式は一般曲線座標表示の連続式および鉛直積分した運動方程式である。差分化の際には、移流項は1次精度の風上差分、移流項以外は2次精度の中心差分、時間積分は2次精度のAdams-Bashforth法を用いた。変数配置はスタガード格子系であり、細田、長田らのモデル⁹⁾を利用した。解析区間は足羽川中流域15.8～21.8km（下新橋下流～JR越美北線第6橋梁上流）の約6kmとした。図13に示す解析格子は、縦断方向約200m間隔の河道横断測量データおよび福井県砂防基盤図DEMデータを用いて作成したもので、浸水範囲を考慮して氾濫原を含む河道周辺地形を再現した。格子点数は縦断方向63点×横断方向98点（堤内38点、堤外30点×2）である。Manningの粗度係数は河道部0.035、堤内地0.050s/m^{1/3}とした。

図14に境界条件として与えた上流境界の流量ハイドログラフ、下流境界の水位ハイドログラフを示す。2004年7月18日午前7:00を基準時間ゼロとした。流量波形は、解析領域下流端から約3.2km下流にある天神橋水位観測所における国土交通省近畿地方整備局発表の流量波形と相似にして、最大流量が2200m³/sになるよう作成したものである。この最大流量は、天神橋上流から解析区間上流境界までの本川と支川の流量関係を流域面積比から図15のように推定した結果である。一方、下流境界の水位は、上流境界条件の流量と下流端の横断地形に基づいて等流を仮定して算定したものである。その際、水面勾配は最大水位が15.8km地点の水位痕跡の記録（左右岸平均T.P.40.0m）と一致するように与えた。以下では、2) 元河道地形における洪水氾濫解析および3) 破堤後の河道地形における洪水氾濫解析の結果を示す。

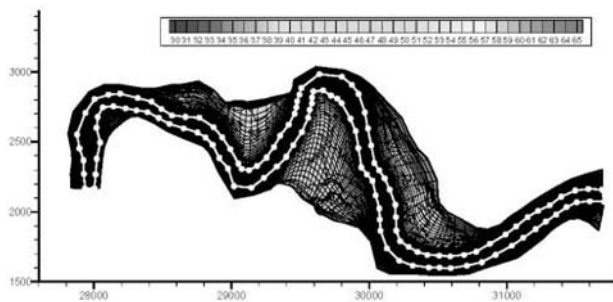
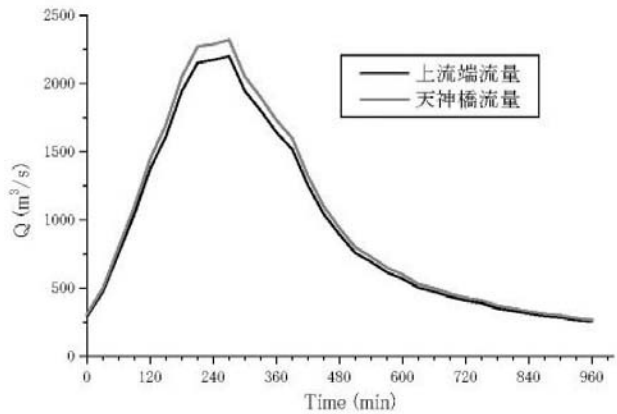


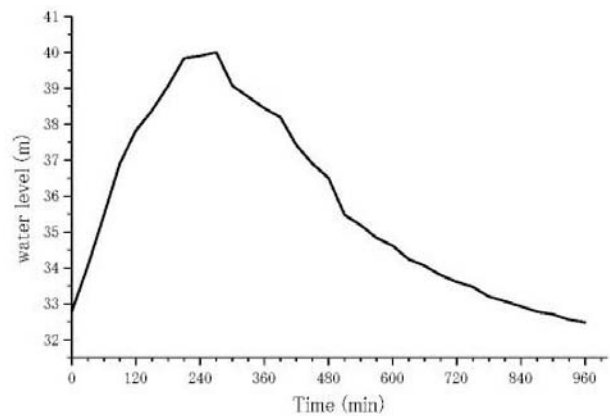
図13 足羽川中流15.8～21.8km河道周辺の解析格子と地盤高。

2) 元河道地形を用いた洪水氾濫解析の結果および考察

図16は水位および流速ベクトルの増水時・最大流量時・減水時の変化を示すものである。増水期の8時半頃から9時半頃の間、河川流量は約1000m³/sから1600m³/sに増大して、第4鉄橋下流右岸、第4鉄橋上流の河道湾曲部内岸および福島橋上流左岸で堤内地への浸水が始まる。湾曲部内岸および福島橋上流左岸は堤防がないこと、第4鉄橋付近は河床の縦断



(a) 流量ハイドログラフ



(b) 水位ハイドログラフ

図14 解析領域上下流端の流量・水位の境界条件。

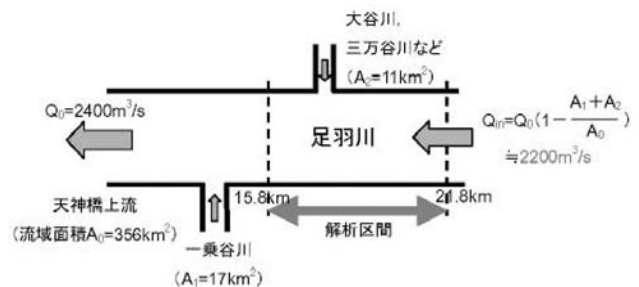


図15 天神橋上流域の本川と支川の最大流量の推定。

勾配が緩く、橋梁下流は左岸に比べて右岸堤防が低いことなどが要因であろう。9時半頃から流量ピークに達するまでの間、各地点から侵入した氾濫水が周辺部に広がり、周辺の水田や集落が浸水するとともに、高田大橋下流域、第6鉄橋から大久保橋の無堤区間および大久保橋下流の河道湾曲部の内岸など新たな地点で溢水が生じる。最終の浸水範囲を表す最高水位分布を図17に示す。計算結果は図2の現地調査や航空写真などに基づき作成した浸水範囲とある程度整合することが確認できる。図18は最大流速の分布を示すものであるが、洪水流速は河道内においても縦断方向および横断方向に大きく変化することが分かる。主に河道の狭窄部や河床勾配が急な所で流速が大きく、第4鉄橋付近の直線区間では河床勾配が比較的小さいため最大流速は小さい。大久保橋付近の

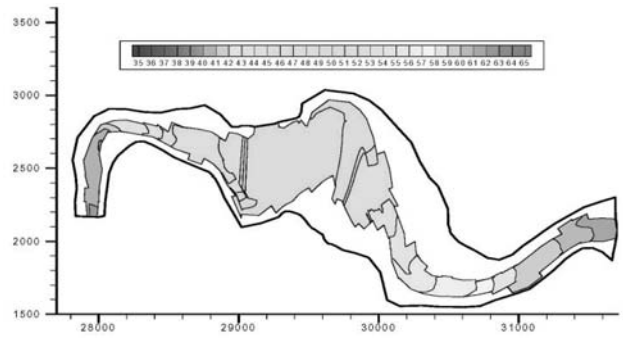


図17 浸水範囲および最高水位の分布。

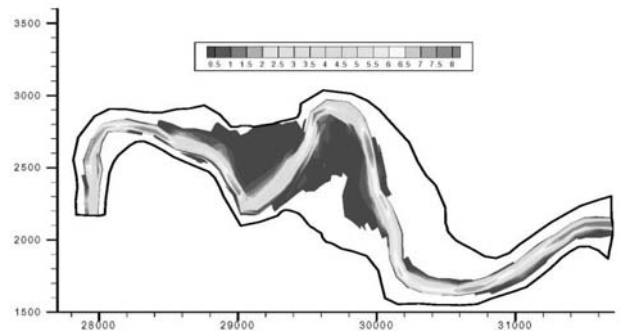
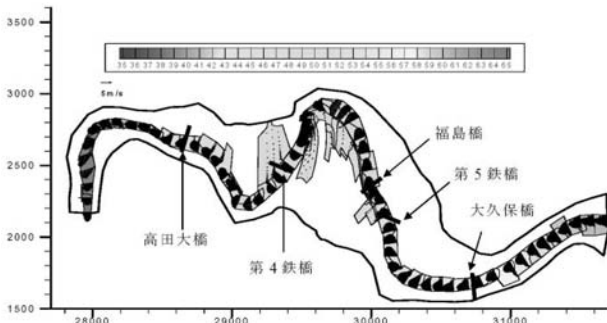
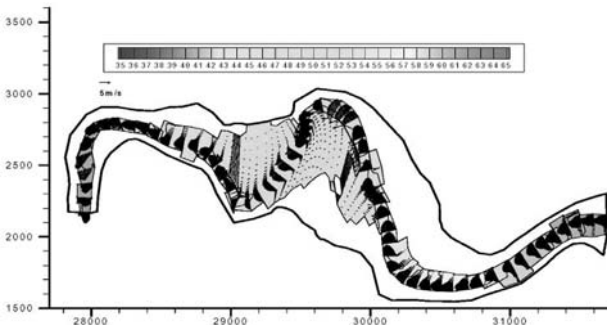


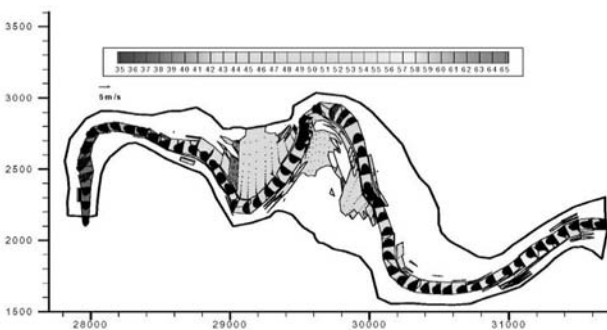
図18 最大流速分布。



(a) 9時半 (増水期: $Q=1600\text{m}^3/\text{s}$)



(b) 11時半 (最大時: $Q=2200\text{m}^3/\text{s}$)



(c) 14時半 (減水期: $Q=1000\text{m}^3/\text{s}$)

図16 水位・流速ベクトルの時間変化。

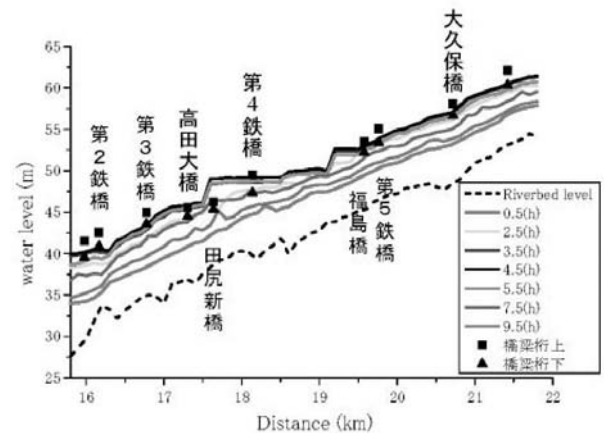


図19 縦断水位分布の時間変化。

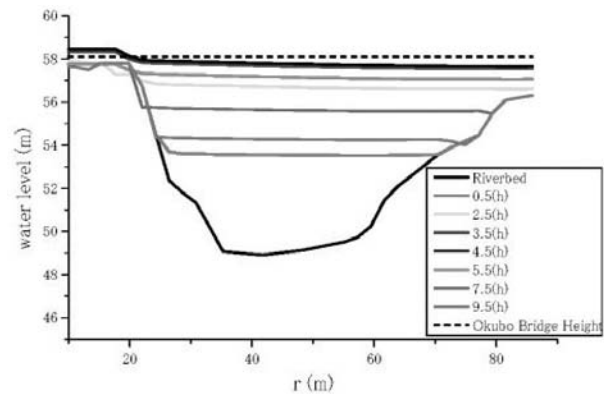


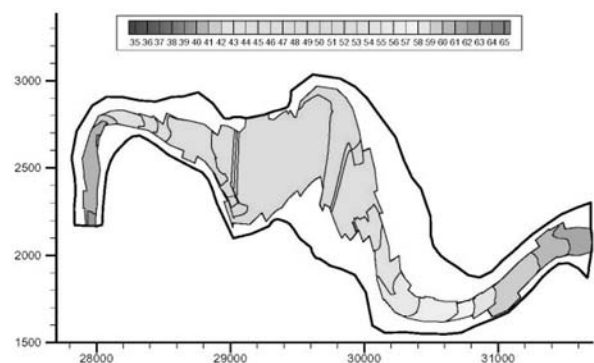
図20 大久保橋付近の横断水位分布の時間変化。

流速は約6～7m/sと予測され、当時の洪水流を撮影したビデオ画像から推定された結果5.2～7m/sとある程度整合することが確認できた。

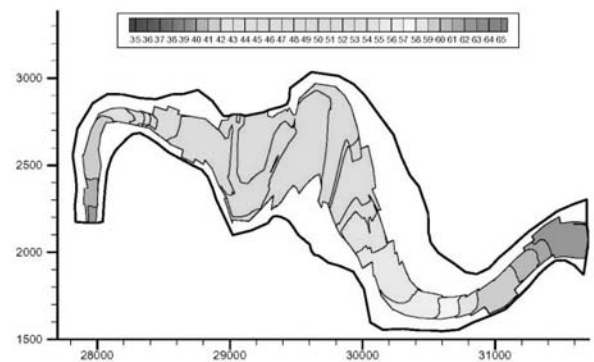
図19は、各時刻の河道内中央部の水位の縦断分布、最深河床高および各橋梁の平均桁上・桁下高を示すものである。区間内の大部分の橋梁地点では、最高水位は桁下以上に達し、高田大橋や田尻新橋地点では桁上以上の水位となっている。区間内下流から2番目の第2鉄橋地点では川幅が広く、水位は桁下以下であったため、橋梁本体の被害はなかった。図20は大久保橋地点の各時刻の水位の横断分布を示す。図中の破線は桁上の高さを示すものであるが、計算された最高水位は河道部で桁上より数10cm低い。洪水時の大久保橋の写真より大久保橋は橋桁が冠水していたことが判明しているため、本計算結果の水位は実際より若干低くなっているが、水位は右岸に比べて左岸寄りで高くなる特徴を捉えていることが分かった。計算水位が実際より低くなるのは、本計算においては橋脚や橋桁などによる流体抵抗力を考慮していないことが最大の原因と考えられる。

そこで、橋脚の流水抵抗効果を考慮するため、抗力係数 $CD=1.0$ と仮定し、橋脚の流水抵抗を表す項を運動方程式に加えて計算した結果を次に示す。図21は橋脚による流水抵抗の有無による最大流量時の河道中央部の水位縦断分布の違いを示すものである。橋脚の流水抵抗を考慮した場合の方が河川水位は大部分で高く、特に第3・第6鉄橋、福島橋および大久保橋付近で桁上あたりまで水位が上昇し、被害状況から推測される水位に近づいていることが確認された。図22に最高水位の平面分布の変化を示すが、河川水位の変化とともに周辺氾濫原における浸水範囲および最高水位にある程度の変化が見られる。特に、第6鉄橋上流および第5鉄橋付近で浸水域の拡大が顕著である。図23は、橋脚の流水抵抗を考慮した場合

の河川水位の縦断分布の時間変化を示すものである。図19の流水抵抗を無視した場合と比較して河川水位は全体的に高く、冠水した大部分の橋梁付近において桁上を超える水位に到達している。時間に関係なく、縦断方向の水位変化は河道の湾曲部で大きい。区間内の大部分の橋梁地点では、最高水位は桁下以上に達し、高田大橋や田尻新橋地点では桁上以上の水位となっている。第2鉄橋地点では川幅が広く、水位は桁下未満であったため、橋梁本体の被害はな



(a) 橋脚の流水抵抗を無視した場合



(b) 橋脚の流水抵抗を考慮した場合

図22 橋脚による流水抵抗の有無による最高水位分布の違い。

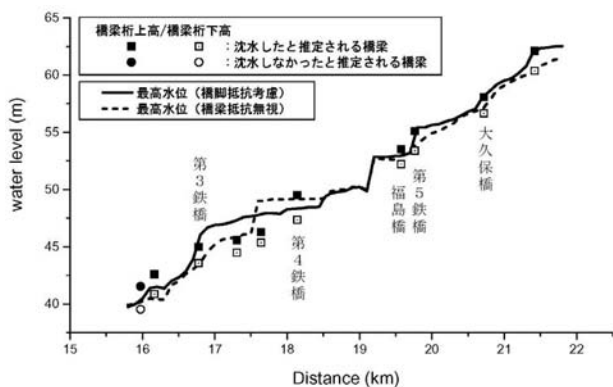


図21 橋脚による流水抵抗の有無による河川水位の縦断分布の違い (最大流量時)。

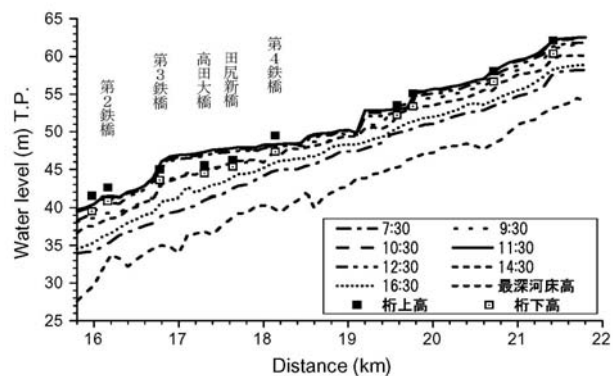
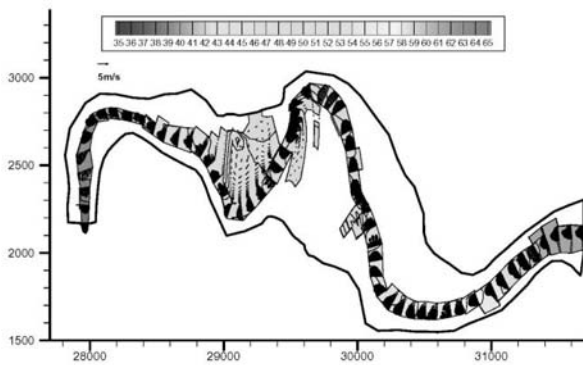


図23 河川水位の縦断分布の時間変化 (橋脚の流水抵抗を考慮した場合)。

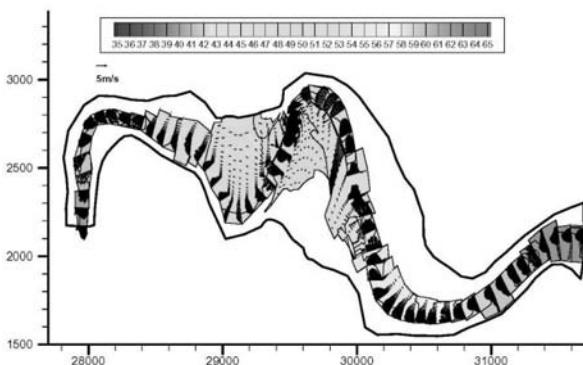
かった。第3鉄橋から第4鉄橋の間では、河川水位は各橋梁の桁下以上まで上がり、最高水位に達する約2時間半前から第4鉄橋右岸堤防では溢水が起き、堤防天端高を超える高い水位が長時間（4～5時間）継続することが推測される。

3) 破堤後の河道地形を用いた洪水氾濫解析の結果および考察

本節では、前節2)と同じ流量・水位境界条件の下、洪水で破堤した後の河道地形を対象に解析を行



(a) 9時半（増水期： $Q=1600\text{m}^3/\text{s}$ ）



(b) 11時半（最大時： $Q=2200\text{m}^3/\text{s}$ ）

図24 破堤地形における水位・流速ベクトル分布.

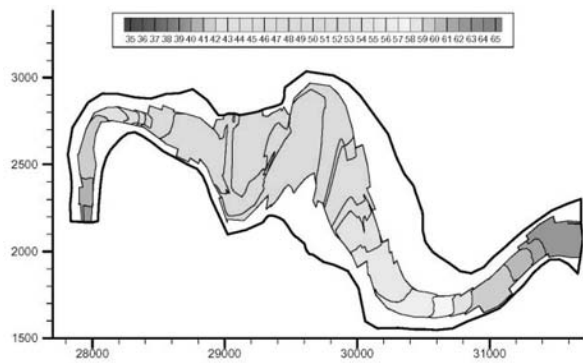


図25 破堤地形における最高水位分布.

い、破堤の有無による洪水氾濫流の変化を調べた。本解析では、第4鉄橋直下流右岸の約200mおよび高田大橋直上流右岸の約50mの堤防決壊を考えた。破堤被害の状況は前述したが、破堤の発生時刻は不明であるため、ここでは破堤後の地盤高を初期地形として計算した結果を示す。

図24は元地形および破堤地形における増水期と最大流量時の水位・流速ベクトル分布を、図25は最高水位の分布を示す。破堤前の元地形の解析結果と比較して、早期に河川水は破堤部から堤内地に侵入するため、増水期の早期段階において、破堤地形における浸水範囲の拡大は著しい。しかし、ある程度増水すると、浸水範囲は仮定した破堤地形にあまり関係なく、ほぼ同じである。図25と図22(b)を比較すると、最高水位分布も破堤の影響をあまり大きく受けないことが確認できる。一方、堤内地の流速は増水期において破堤箇所付近で約2m/sに達しており、破堤を考慮しない場合の約3倍になることが分かった。また、高田大橋付近の横断面においては、破堤地形

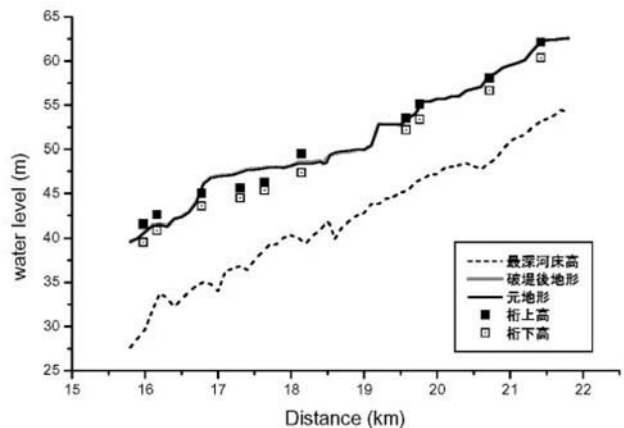
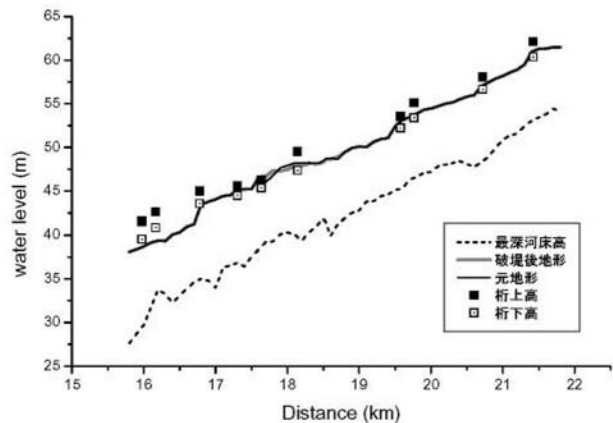


図26 元地形および破堤地形における河川水位の縦断分布.

の影響による水位変化はほとんど見られないが、河川部の洪水流速は減少し、堤内地の氾濫流速が顕著に増加することが解析結果より推測できる。

図26は破堤地形および元地形上における河川水位の縦断分布を示すものである。増水期においては、破堤地形では第4鉄橋付近で河川水位が低下し、田尻新橋付近で河川水位が上昇すると予測されたが、その差は最大で0.4m程度であり、それ以外の広い区間では、河川水位はほぼ同じである。また、最大流量時の河川水位は解析範囲全域においてほぼ同じであり、今回の破堤地形にほとんど影響されないことが分かった。

IV. まとめ

平成16年7月福井豪雨における足羽川中流域の橋梁および周辺河川施設の被害を整理するとともに、谷底平野における洪水氾濫状況を現地調査、資料分析および数値解析より推定した。橋梁および周辺河川施設の被災状況を分析した結果、河川蛇行部をショートカットした氾濫流が取付道路と橋梁の接続部に集中して侵食破壊を引き起こしたことで、桁上に達する洪水流により流出橋桁の着地に伴い高水敷の異常侵食が生じ堤防法先の侵食を助長して下流部の破堤の要因になった可能性があることなどの山間溪流域における洪水氾濫による河川施設の特徴的な被災過程をまとめた。

河道内部のみではなく氾濫原も含めた洪水氾濫解析を行い、洪水流特性および河道周辺部への浸水過程を考察した。浸水範囲や洪水流の流速などの解析結果は現地調査や写真・ビデオ映像などの資料と定性的に一致し、信頼性を確認するとともに、堤防の溢水が最大流量到達時刻より約2時間半前から生じ長時間越流状態にあった等の洪水氾濫過程を推定した。橋脚の流水抵抗を考慮することで、橋梁の被害状況から推定される洪水氾濫状況により近い解析結果を示し、さらに破堤後の河道地形を用いた解析を行うことで、河川水位、浸水範囲および氾濫流向に及ぼす破堤の影響を考察した。仮定した破堤区間による堤内地への河川水の貯留効果は増水早期段階に限られると推測された。

さらに河川施設および河道地形と洪水氾濫特性と

の関係进行分析するには、洪水被害状況に関する詳細な調査・資料収集とともに、より高度な洪水氾濫流解析が不可欠である。今後の課題として、堤防からの越流水量を正確に評価するためのモデルの改善および河川地形の格子解像度を向上した計算が必要である。

謝辞：本研究の実行に際し、国土交通省、福井県、福井新聞社、国際航業株式会社および地元住民から貴重な資料を提供して頂きました。また、本研究の一部は、河川環境管理財団・河川整備基金および金沢大学・重点研究経費（若手育成）の補助を受けました。ここに記して謝意を表します。

文献

- 1) 土木学会北陸豪雨災害緊急調査団, 2005: 福井豪雨による災害. 平成16年7月北陸豪雨災害調査報告書, 土木学会, 232.
- 2) 玉井信行, 2005: 2004年北陸豪雨災害について—土木学会調査団報告. 自然災害シンポジウム, 462/IV, 33-42.
- 3) 上野鉄男・石垣泰輔, 2005: 足羽川山地流域における2004年水害について. 京都大学防災研究所年報, 48B, 657-671.
- 4) 石野和男・榎田真也・玉井信行, 2005: 2004年福井水害における鉄道橋梁の被災原因の調査解析と今後の長寿命化方策の検討. 河川技術論文集, 11, 157-162.
- 5) 廣部英一・田安正茂・榎田真也・宇治橋康行・玉井信行, 2005: 平成16年7月福井豪雨における足羽川の洪水災害と洪水流解析について. 河川技術論文集, 11, 133-138.
- 6) 福井豪雨を踏まえた治水計画, 2004: 第24回九頭竜川流域委員会資料. 資料-1, 国土交通省近畿地方整備局福井河川国道事務所.
- 7) 服部 勇・山本博文, 2005: 平成16年7月の福井豪雨の堆積学的側面(足羽川中流部における浸食, 運搬, 堆積作用). 福井市自然史博物館研究報告, 52, 1-11.
- 8) 国土交通省近畿地方整備局足羽川ダム工事事務所製作 2004.7.18福井豪雨, 30分, 2004 (ビデオ映像).
- 9) 細田 尚・長田信寿・村本嘉雄, 1996: 移動一般座標系による開水路非定常流の数値解析. 土木学会論文集, 533/II-34, 267-272.