

本書は、公益財団法人 河川財団の河川整備基金の助成を受けて出版されたものである。

書籍のコピー、スキャン、デジタル化等による複製は、
著作権法上での例外を除き禁じられています。

はじめに

近年において、2003(平成15)年の台風10号による北海道日高地方での水害、2004(平成16)年の北陸豪雨水害をはじめ、様々な流況下で河川橋梁が様々な形態で被災した。著者たちは、この2つの水害を機に橋梁被害を対象とする研究グループを構成し、当初は厚別川や足羽川の橋梁被害調査に携わった。その調査・研究中に2005(平成17)年の台風14号による宮崎水害が発生した。五ヶ瀬川、耳川で多くの橋梁が類似の被害を受けたので、これらも対象に含めて調査・研究を行った。こうした経験から、近年の橋梁災害の特徴を次のように把握している。現象論では、1)大出水においては大量の倒木の流出が見られ、これが橋梁被害を拡大している、2)大出水においては橋桁が浸水するほどに水位が上昇している、3)近代的な設計基準が定められる前に建設された橋脚は、破壊に至るものが見られる、4)構造物および堆積流木による流水阻害により迂回流が発生し、これが橋梁周辺の堤防や取付け道路を破壊している、ということである。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、橋梁設計時には考えられていない異常事態であり、こうした事態に対する分析と対策が望まれている。

このような問題意識から研究目的の設定、研究内容の選定、研究班の構成を定めた。2004年災害までは、対策工にまで言及した研究は鉄道橋に限られていたが、引き続き研究において道路橋被災状況の調査、解析、水理実験を総合的に組み合わせて原因の解明を行うとともに、被災に対する対策工の立案も目標とした。さらに、今後予想される流況下における橋梁形式ごとの対策工までをまとめることとした。このため、大学の研究者、橋梁の管理者につながる行政官庁の研究者(2005年当時)、工事の設計・施工に当たる民間建設業の研究関係者による共同研究を実施できる研究班を構築した。

そして、「豪雨による河川橋梁災害に関する現地調査、被災原因解明、対策工立案の研究」と題して、2005年度～2007(平成19)年度にかけて河川整備基金の助成を得て研究を行い、2008(平成20)年に報告書の形で公表している。この調査・研究期間中に2007年の台風9号による酒匂川の十文字橋災害が生じた。この橋梁災害は著者たちが経験していなかった被災状況であったので、研究グループとしての活動を継続してこれに当たることとした。そして、「礫床河川において洪水中に発生した橋脚の沈下原因の究明および対策工立案の研究」と題して、2008年度の河川整備基金の助成を得て研究を行い、2009(平成21)年に報告書を公表した。

本書は、4年間の研究を総括した報告書を推敲し、河川および道路の管理者が留意すべき視点も併せて、わかりやすくその成果をとりまとめた。現象を観察し、そのモデル化を考え、内部機構の力学的な本質を考え、それを対策に結び付ける論理的な階層で構成されている。著者たちは、2009年以降も様々な災害調査に加わって活動し、橋梁災害に関係する水理的機構の

解明、被災軽減対策等の研究に従事してきた。今回の出版に当たっては、河川整備基金からの二度の研究助成の内容のみにとどまらず、このような著者たちの2009年以降の活動内容を含め、近年の橋梁災害に関してできるだけ包括的、体系的な内容となるように務めたつもりである。しかしながら、研究グループとしては年次ごとの活動をした経緯もあり、提示の順序は主として時系列に従っている、と言える。第II編『橋梁の健全度評価法』については、現在進行形で発展している分野もあり、今後の研究の進展により被害軽減策が進むことが期待される。

本書の基礎となった調査・研究を進めているときに著者たちが強く意識していたのは、橋梁のみを見るな、川の蛇行や河床の土砂を見よう、取付け道路を見よう、橋梁が立地する谷筋の自然環境を考えよう、という項目であった。本書を通して、読者の方々が「環境の中に佇む橋梁」を、頭に思い描いていただくことができれば幸いである。

河川整備基金の研究助成による調査・研究でお世話になった公益財団法人河川財団、研究グループ構成員の活動に関して支援をいただいた独立行政法人寒地土木研究所、大成建設株式会社技術研究所、金沢大学に謝意を表します。また、被害を受けた橋梁に関する資料や図面、災害時の写真使用に関しては、国土交通省近畿地方整備局、同福井河川事務所、同足羽川ダム工事事務所、国土交通省北陸地方整備局、国土交通省北海道開発局、国土地理院地理空間情報部、福井県土木部、新潟県土木部、北海道建設部、神奈川県県土整備局河川下水道部、土木学会、西日本旅客鉄道株式会社金沢支社、福井新聞社、国際航業株式会社、株式会社シン技術コンサル等のご協力を得ました。そうしたご協力により、読者に有用な情報を提供することができたことに厚く感謝します。

編集にあたっては、いくつかの調査報告書を統一した形の素原稿に組み直し、清書、プリントする作業を遂行していただいた技報堂出版(株)小巻慎編集部長の協力を厚く謝意を表します。さらに、出版に当たっては(公財)河川財団河川整備基金による河川整備基金助成事業研究成果の出版(申請事業名:豪雨による河川橋梁災害の原因解明と対策工立案についての研究成果の出版)への学術図書出版助成を得たことを記して、深く感謝いたします。

2015年4月

著者を代表して 玉井 信行

執筆者名簿 (太字は執筆箇所 2015年2月現在)

代 表

玉井 信行 (たまいのぶゆき) [東京大学名誉教授]

[2.1.1, 2.2.1, 4.1, 4.2, 4.3.1~4.3.3, 4.4.1, 5章, 9.2.1]

執筆者 (五十音順)

石野 和男 (いしの かずお) [(株)アジア共同設計コンサルタント]

[2章, 4.1, 4.3.2~4.3.5, 4.4.2, 5章, 6.3.1, 6.3.3, 7.1~7.3,
7.4.1, 7.4.2, 7.5, 8.1, 8.2.1, 8.2.2, 9.2.3, 9.2.4]

株田 真也 (うめだ しんや) [金沢大学理工研究域環境デザイン学系准教授]

[1.1, 6.2, 6.3.1, 8.2.3, 9.1.1, 9.2.2]

前野 詩朗 (まえの しろう) [岡山大学大学院環境生命科学研究科教授]

[6.3.2, 7.4.3]

渡邊 康玄 (わたなべ やすはる) [北見工業大学工学部社会環境工学科教授]

[1.2, 3章, 6.1, 9.1.2]

第 I 編 近年の橋梁災害の特徴



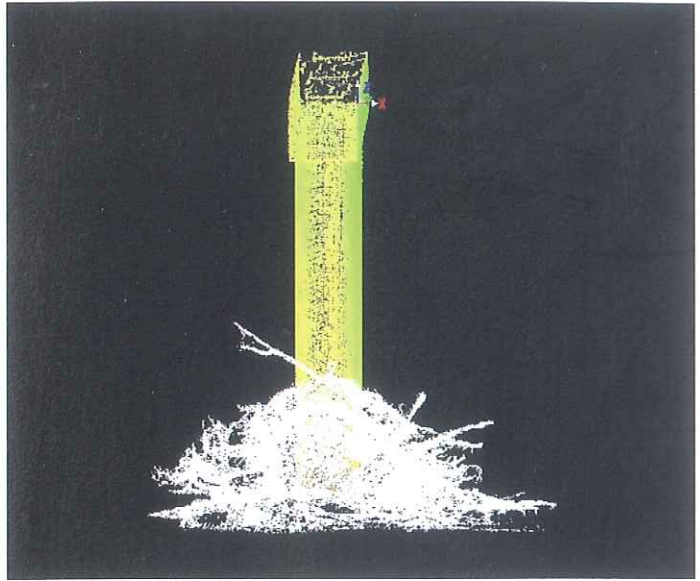
2004年福井豪雨による足羽川の
高田大橋付近における被害
(上流左岸より)

2004年福井豪雨による越美北線の第1
鉄橋おける橋脚の倒壊



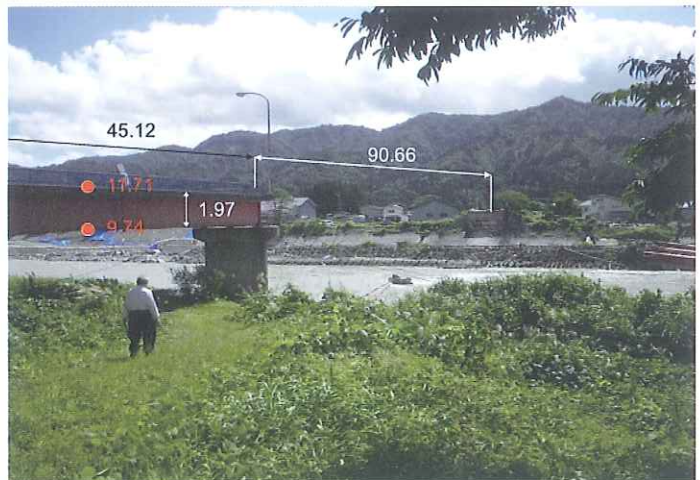
2005年宮崎水害による耳川町村道の小
原橋桁の流出

沙流川において3次元レーザスキャンを用いた流木集積量(体積)の計測



2011年新潟・福島豪雨による只見湖に架かる万代橋の被害(右岸下流より)
(数字は計測値を示し、単位はm)

2011年新潟・福島豪雨による只見川右支川に架かる小川橋の被害(右岸上流から)(数字は計測値を示し、単位はm)



第 1 章 大スケールの流れと橋梁被害

1.1 谷底平野の橋梁

本節では、谷底平野を流れる足羽川中流域における洪水氾濫状況と橋梁被害の特徴をまとめる。

2004(平成16)年7月18日、梅雨前線の停滞に伴い福井豪雨が発生した。その災害では、福井市内中心部の足羽川下流域における破堤氾濫による11,000世帯以上の床上・床下浸水等の多大な被害とともに、旧美山町周辺の足羽川中流域の谷底平野においても溢水、破堤氾濫等により家屋、農地および河川施設に甚大な被害が発生した。

市街地付近の流下能力 $1,300\text{ m}^3/\text{s}$ に対して天神橋地点の実績流量は約 $2,400\text{ m}^3/\text{s}$ であった。治水計画の規模を大きく上回る大出水により、足羽川中流域の多くの橋梁付近で水位が桁高以上になり、非常に激しい洪水流を受け、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)が流失するなどの被害を受けた[1]。また、溢水および破堤氾濫により、土砂、流木を含んだ水が山間部の谷底平野に広く侵入し、浸水家屋、農地、道路等に多量の土砂が堆積するなどの被害が生じた。図-1.1は、足羽川天神橋水位観測所から約3.5 km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である。河道は蛇行して両岸に谷底平野を形成しているが、その両岸には水田が広がり、山際付近の標高の比較的高い所に集落が分布する。(b)の被災後の写真から、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、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わかる。

図-1.2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したものである。図中の矢印は土砂の流入方向を示している。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ている。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ている。第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ている。

図-1.3は、下新橋下流の出水時と平水時の様子を示すが、出水時の流れは平水時に比べて水位が非常に高く、流木、ゴミ等が大量に流出したことがわかる。多くの橋梁地点でピーク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-1.4に示す倒壊した田尻新橋は、長さ約57 m、幅員約3 mの小規模な道路橋である。国道364号が通る幅員約8.4 mの高田大橋は流出を免れたが、図-1.5に示すように右岸上流部の堤防および右岸取付け道路が破壊さ

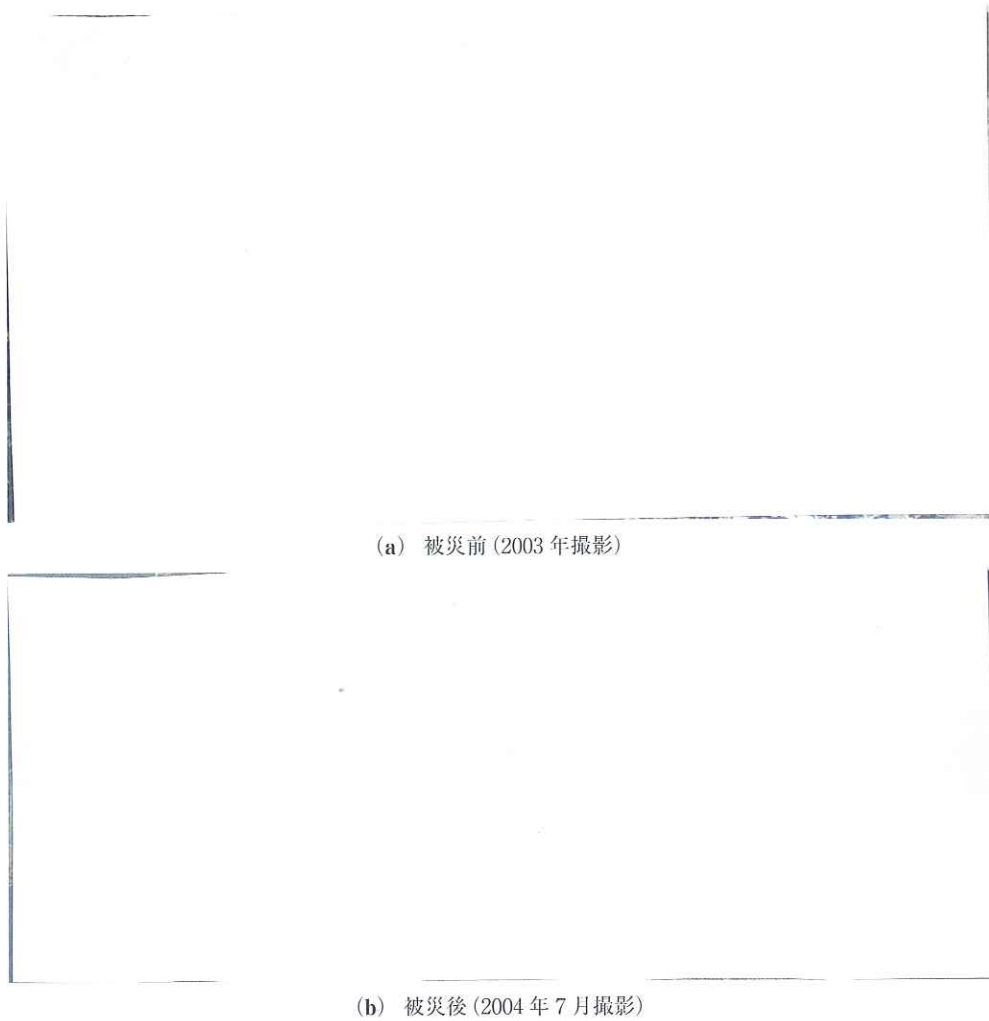


図-1.1 2004年の福井豪雨前後の空中写真の比較(出典:国土地理院)



図-1.2 2004年の福井豪雨による足羽川第6鉄橋から下新橋付近の浸水範囲と被害を被った橋梁
[出典(国土地理院)に加筆]

1.1 谷底平野の橋梁



(a) 出水時(2004年7月18日午前)(出典：地元住民) (b) 平水時(2004年8月14日)(出典：榎田)

図-1.3 出水時と平水時の下新橋下流における流況比較



図-1.4 田尻新橋の被害状況(出典：榎田)

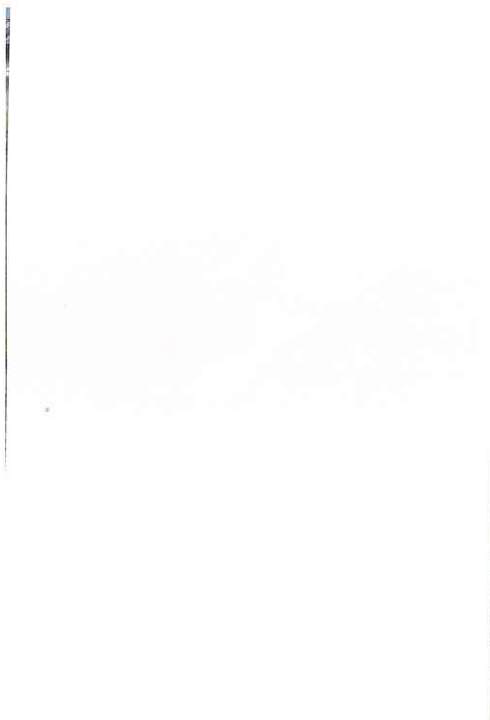


図-1.5 高田大橋周辺被害状況(2001年7月19日)(出典：福井新聞社)

れるなど、周辺施設に大きな被害が及んだ。堤防の決壊により、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大量に残されたり[図-1.6(a)]、農道のアスファルト舗装が剥離して水田に堆積したり[図-1.6(b)]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[2]に詳しい。

図-1.7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、赤矢印は稲の倒伏や流木等の堆積状況から推定した方向で、例えば図-1.8、1.10(d)に示すような、当時の現地調査、空中写真



(a) 水田に堆積した礫や土砂



(b) 堤内地の農道舗装の剥離

図-1.6 第4鉄橋上流右岸堤内地の被害状況(足羽川との位置関係については図-1.2参照)(出典：榎田)

図-1.7 2004年の福井豪雨による足羽川第4鉄橋・高田大橋右岸の氾濫流向の推定結果
[出典(国土地理院)に加筆]

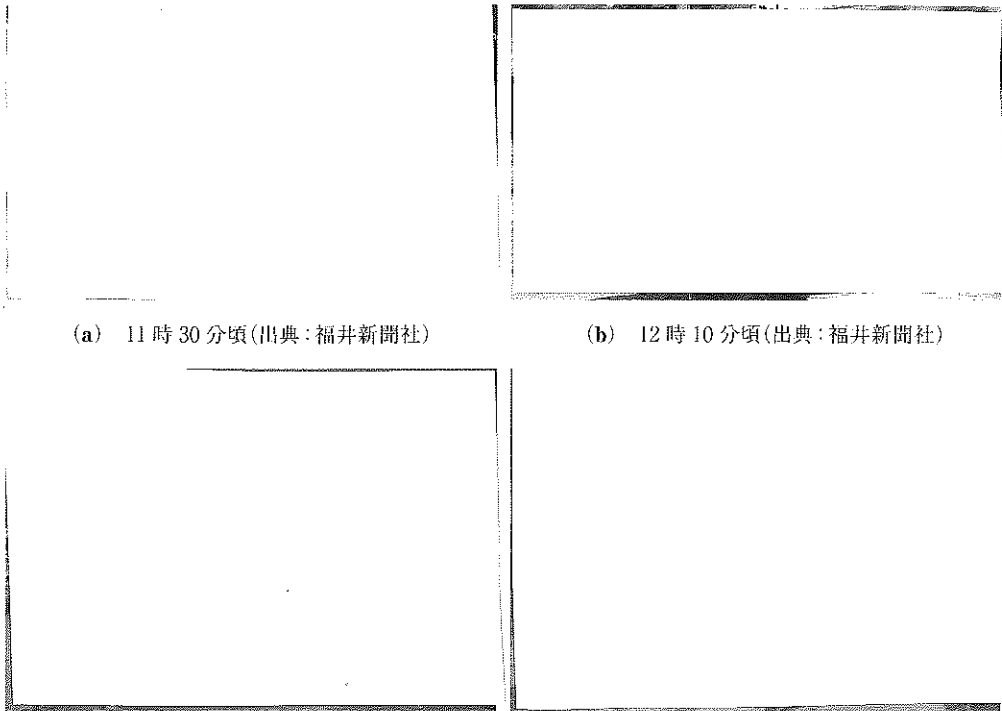
および映像、写真等の記録を基にしている。鉄道の盛土に開けられた2箇所のカルバートから、第4鉄橋上流右岸に侵入した氾濫水が流入するとともに、4鉄橋下流の破堤部から多量の氾濫水が水田を横切り、高田大橋の取付け道路に向かって流下したと考えられる。取付け道路は水田より約2~3m程度高い盛土であったが、氾濫水が多量であったため、氾濫水はさらに道路盛土を越えて下流側に流れたことが樹木の倒伏状況からわかった。以下では、第4鉄橋下流、高田大橋上流の破堤部周辺における洪水氾濫過程と橋梁、周辺施設の被害の特徴を詳述する。



図-1.8 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(2004年7月22日撮影)(出典:椋田)

図-1.9(a)~(e)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。図中の矢印は河川流の向きである。(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[1]。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 $354,000\text{ m}^3$ 程度と算定された。(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、最高水位の時刻が11時30分に近いことがわかる。19時過ぎの減水期の状況を示す(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わかる。(d)からは、下流右岸の堤内地に、4鉄橋右岸寄りの流出した橋桁が氾濫水や土砂とともに侵入したことが、(e)からは、土砂が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に厚く堆積したことがわかる。

次に、第4鉄橋周辺の洪水氾濫による被害状況を図-1.10(a)~(e)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ている。堤体材料であった土砂、表のりに使用されていたと考えられる直径10~20cm程度の礫は、堤内地に散



(a) 11時30分頃(出典:福井新聞社)

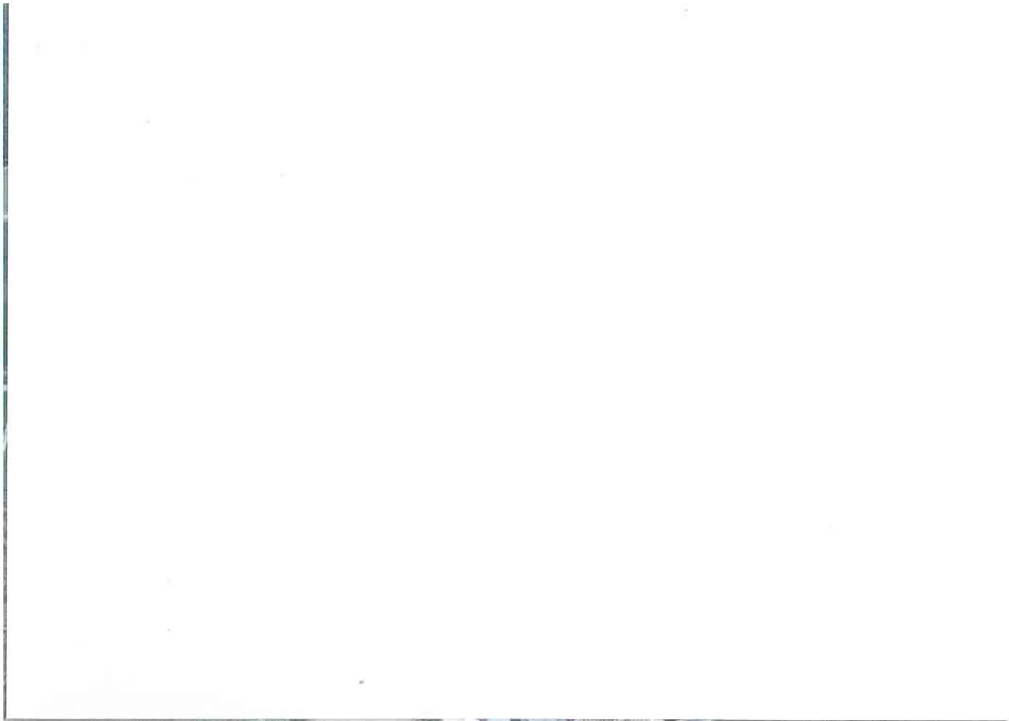
(b) 12時10分頃(出典:福井新聞社)

(c) 19時9分頃(出典:福井豪雨映像アーカイブス作成委員会)

(d) 18日午後(出典:福井豪雨映像アーカイブス作成委員会)

(e) 18日午後(出典:福井豪雨映像アーカイブス作成委員会)

図-1.9 2004年の福井豪雨時の足羽川中流域にある第4鉄橋付近の洪水氾濫状況



(a) 第4鉄橋(下流上空より)[出典(国際航業株式会社)に加筆]



(b) 堤内地に侵入した橋桁(河道寄りから撮影)
(出典: 榎田)



(c) 堤内地に侵入した橋桁(堤内地寄りから撮影)
(出典: 榎田)



(d) 下流右岸の高水敷の侵食と破堤の状況
(出典: 榎田)



(e) 下流右岸の高水敷の侵食と破堤の状況
(出典: 榎田)

図-1.10 2004年の福井豪雨による足羽川第4鉄橋付近の被災状況

乱した。(a)の下流上空からの写真から、礫は破堤区間の下流寄りに集中的に堆積していること、流失した橋桁も礫の堆積する場所まで元の位置から150m程度流されていることがわかる。橋桁は、主軸が河道法線から約 25° 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約 $70\sim 90^{\circ}$ 傾いている。(b)、(c)では、橋桁の河道側表層に礫が分布し、橋桁背後の堤内側には土砂が分布しているのが見られる。背後の土砂は、破堤直後に堤内地に流入し堆積した土砂がその後侵入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(a)、(d)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[(a)、(e)参照]。異常侵食された範囲の長径は流失桁の長さの約2~3倍、短径は桁幅の約3~6倍程度の大きさである。これらの状況から、倒壊した橋桁は、一時的に高水敷上にとどまり、洪水流に対して大きな障害物となり、その周辺が局所的に侵食された。その後、右岸堤防が決壊し、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、被害状況を図-1.11(a)、(b)および図-1.12(a)~(d)に示す。図-1.11(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、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、洪水が堤防を越流していると推察される。(b)は減水段階の洪水氾濫状況を示す。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-1.5等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、さらに右岸側の取付け道路の国道364号線の盛土が侵食され、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、河川水位の低下に伴ってこの破堤部から徐々に排水されたと推測される。図-1.12(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、(b)、(d)の破堤点上流に残った堤防の被災状況から、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、次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兩岸に溢れ、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、それにより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り洪水流が堤内地に流入した際、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付け道路に直接作用し、橋台背後が侵食された。減水期には、堤内に溜まっていた氾濫水は破堤部から河川に排水されたと考えられる。

著者紹介

玉井 信行 (たまい のぶゆき)

1964年3月 東京大学工学部土木工学科卒業
修士、助手、講師、工学博士、助教授を経て、
1983年7月 東京大学教授(工学部土木工学科)
2002年3月 還暦を機に退職
2002年4月～2012年3月 金沢大学教授および金沢学院大学経営情報学研究科教授
2007年7月～2011年7月 国際水圏環境工学会(IAHR)会長
著書 密度流の水理、技報堂出版、1980年3月
河川生態環境工学(編著者)、東京大学出版会、1993年1月
河川計画論(編著者)、東京大学出版会、2004年10月
等多数

石野 和男 (いしの かずお)

1975年3月 日本大学大学院理工学研究科修士課程修了
1975年4月 大成建設(株)入社
土木設計部、技術開発部等を経て、
1979年8月 技術研究所配属、以後、海洋水理研究に従事
1994年3月 明石海峡大橋洗掘防止工研究を契機に博士号取得
2004年7月 福井県足羽川水害調査を契機に、主に豪雨による橋梁災害研究に従事
2012年8月 大成建設(株)退社
2012年9月 (株)アジア共同設計コンサルタント入社、現在に至る
著書 流木と災害(分担執筆)、技報堂出版、2009年12月

樺田 真也 (うめだ しんや)

1998年3月 金沢大学大学院工学研究科土木建設工学専攻修士課程修了
1999年4月 金沢大学工学部助手
2006年10月 金沢大学大学院自然科学研究科講師
2010年12月 金沢大学理工研究域環境デザイン学系准教授、現在に至る

前野 詩朗 (まえの しろう)

1980年3月 岡山大学大学院工学研究科修士課程修了
1980年4月 岡山県庁
1982年4月 岡山大学工学部助手
博士(工学)、環境理工学部講師、助教授を経て、
2009年4月 岡山大学大学院環境学研究科教授
2012年4月 環境生命科学研究所教授、現在に至る
著書 全世界の河川事典(分担執筆)、丸善出版、2013年7月

渡邊 康玄 (わたなべ やすはる)

1984年3月 北海道大学大学院工学研究科土木工学専攻修士課程修了
1984年4月 北海道開発庁
北海道開発局石狩川開発建設部、開発土木研究所河川研究室、北海道開発局長官房環境審査官補佐、
独立行政法人寒地土木研究所寒地河川チーム上席研究員等を経て、
2008年4月 北見工業大学教授(工学部社会環境工学科)、現在に至る
著書 川の蛇行復元-水理・物質循環・生態系からの評価-(分担執筆)、技報堂出版、2011年3月
流木と災害-発生から処理まで-(分担執筆)、技報堂出版、2009年12月
等

豪雨による河川橋梁災害
—その原因と対策—

定価はカバーに表示してあります。

2015年5月25日 1版1刷 発行

ISBN978-4-7655-1821-5 C3051

著者 (代表) 玉井 信行
石野 和男
椋田 真也
前野 詩朗
渡邊 康玄

発行者 長 滋彦

発行所 技報堂出版株式会社

〒101-0051 東京都千代田区神田神保町1-2-5

電話 営業 (03)(5217)0885

編集 (03)(5217)0881

FAX (03)(5217)0886

振替口座 00140-4-10

<http://gihodobooks.jp/>

日本書籍出版協会会員
自然科学書協会会員
土木・建築書協会会員

Printed in Japan

© Nobuyuki Tamai, et al, 2015

装幀：ジンキッズ 印刷・製本：昭和情報プロセス

落丁・乱丁はお取替えいたします。

本書の無断複写は、著作権法上での例外を除き、禁じられています。

JCOPY <(社)出版者著作権管理機構 委託出版物>

本書の無断複写は著作権法上での例外を除き禁じられています。複写される場合は、そのつど事前に、(社)出版者著作権管理機構(電話 03-3513-6969, FAX 03-3513-6979, e-mail: info@jcopy.or.jp) の許諾を得てください。