

平成 29 年九州北部豪雨災害時の花月川の 平面 2 次元洪水流解析と 護岸・河岸の被災要因の検討

重枝 未玲¹・秋山 壽一郎²・鬼束 幸樹³・中島 晴紀⁴・勝原 亮介⁵・桂 佑樹⁶

¹正会員 九州工業大学大学院准教授 工学研究院建設社会工学研究系

(〒804-8550 北九州市戸畑区仙水町 1-1)

E-mail:mirei@civil.kyutech.ac.jp

²フェロー会員 九州工業大学名誉教授 (同上)

E-mail:akiyama@civil.kyutech.ac.jp

³正会員 九州工業大学大学院教授 工学研究院建設社会工学研究系 (同上)

E-mail:onitsuka@civil.kyutech.ac.jp

⁴学生会員 九州工業大学大学院 工学府建設社会工学専攻博士前期課程 (同上)

E-mail:o105051h@mail.kyutech.jp

⁵学生会員 九州工業大学大学院 工学府建設社会工学専攻博士前期課程 (同上)

E-mail:o105020r@mail.kyutech.jp

⁶学生会員 九州工業大学 工学部建設社会工学科 (同上)

E-mail: p105017y@mail.kyutech.jp

本研究は、花月川を対象に現地調査および数値解析に基づき、平成 29 年 7 月九州北部豪雨時の被災要因を把握するとともに、今後の河道改修で考慮すべき点を検討したものである。水位を境界条件とした平面 2 次元洪水流解析と降雨を外力とした流域流出・洪水氾濫解析を実施し、花月観測所で 1,350~1,400m³/s 程度の大流量が流下したことに加え、その河道線形や中規模河床形態などの河道特性が、花月川での河川構造物の被災要因であることを示した。これらに基づき、同河川では流下能力の確保のみならず河道特性を踏まえた河川改修の必要性を示した。

Key Words: *the Kagetsu river, Kyushu-hokubu heavy rain in 2017, disaster process, bridge, revetments, numerical simulation*

1. はじめに

平成 29 年 7 月九州北部豪雨では、筑後川中流の右岸流域(以下、筑後川右岸流域)で甚大な被害が生じた¹⁾。同流域は、平成 24 年 7 月にも 2 度の豪雨が生じた流域であり、ここ数年間で複数の豪雨が発生している。

本研究で対象とする花月川は、同流域に位置しており、今次豪雨でも内・外水による家屋浸水被害が生じた¹⁾。同河川は、平成 24 年 7 月 3 日、14 日の豪雨²⁾、今次豪雨で花月水位観測所の既往最高水位を更新³⁾するなど、数年に一回の間隔で被災しており、外力の変化に伴い、過去の経験に基づく維持管理が難しくなってきたと考えられる。そのため、平成 24 年 7 月豪雨と今次豪雨との違いや、出水時の被災状況を把握するとともに要因を検討し、その結果を技術改善につなげることは、今後の河道管理にとって示唆に富んだものになると考えられる。

著者らは、平成 29 年 7 月九州北部豪雨時の花月川流域を対象に流域流出・洪水氾濫解析³⁾を実施し、平成 24 年 7 月豪雨災害後の激甚災害対策特別緊急事業⁴⁾による対策が被害軽減に効果を発揮したこと、今次豪雨災害の洪水・氾濫プロセス、浸水の主要因は内水氾濫であったこと、などを明らかにした⁵⁾。今次豪雨の花月川では、浸水被害だけでなく、JR 橋の流出や護岸損壊、河岸侵食等の河川管理施設の被害が生じた⁶⁾。その被災要因は、河道の平面・縦横断形状などの河道特性⁷⁾や、流速の最大値やその作用時間などの流況と関係⁸⁾があると考えられ、これらを明らかにできれば、今後の同河川の維持管理を行う上で有用な情報を提供できると考えられる。

本研究は、以上のような背景を踏まえ、花月川を対象に、現地調査および数値解析に基づき、今次豪雨における JR 橋や護岸等の河川管理施設の被災要因を検討したものである。

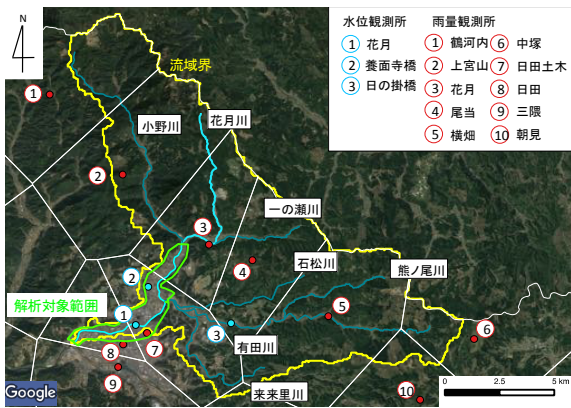


図-1 花月川流域の概要および観測所位置

2. 花月川流域と豪雨災害の概要

(1) 花月川流域の概要

花月川は大分県日田市を貫流する筑後川支川であり、その流域面積は130.2km²、流路延長は59.6kmである。本川との合流点から距離標8.7kmまでが大臣管理区間であり、距離標5.2km地点で有田川と、距離標8.8km地点で小野川と合流している。3.38km左岸に花月水位観測所が設置されている。直轄区間には、5基の堰と18基の橋が存在する。花月川流域の概要および観測所位置を図-1に示す。

(2) 豪雨災害の概要

図-2に、平成29年7月豪雨での花月川の被災箇所の概要を示す。平成29年7月豪雨では、図-2に示すような区間で、護岸損壊、河岸侵食、JR橋崩落などの被害が生じた。写真-1に平成29年7月豪雨時の被災例を示す。距離標0kmで護岸損壊、0.4kmで河岸侵食、0.5kmで護岸損壊(写真-1(a))、0.8kmで護岸損壊、1.3kmで護岸侵食(写真-1(c))、1.6kmで護岸損壊、1.8kmで堤防洗掘、2.7kmでJR久大線鉄道橋流失(写真-1(d))、2.8kmで堤防洗掘(写真-1(e))、4.6kmで河岸侵食、5.8kmで堤防洗掘、6.4kmで堤防洗掘・護岸損壊、7.5kmで護岸損壊、8.6kmで護岸損壊、8.7kmで護岸損壊が発生した。

3. 平成29年7月九州北部豪雨時の花月川の流量の把握

まず、花月観測所(距離標3.38km)より下流を対象に、上・下流端境界条件に水位を与えた平面2次元洪水流解析を実施し、平成29年7月九州北部豪雨時の花月川の流量を把握した。

(1) 解析の概要

解析には、水位ハイドログラフを上・下流端境界条件に与え、水位・流量を求める平面2次元洪水流モデル¹⁰⁾を用いた。同モデルでは、一般の洪水流解析とは異なり、

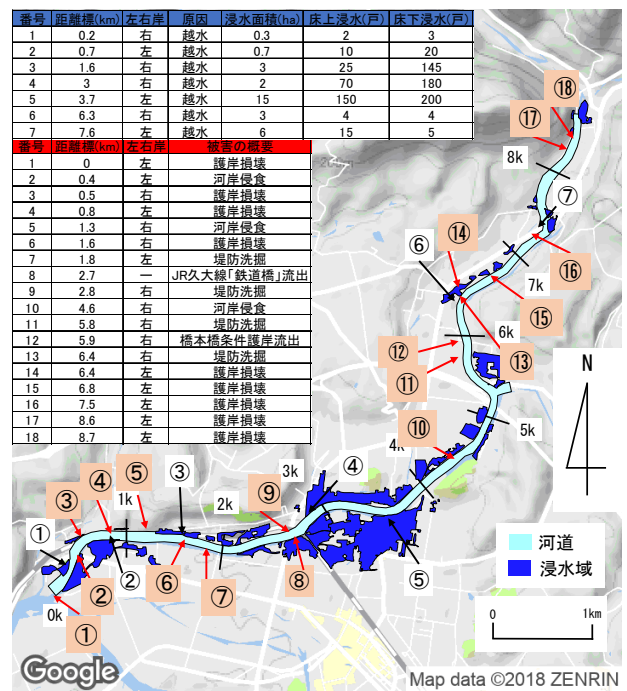


図-2 平成29年7月豪雨での花月川の被災箇所



写真-1 平成29年7月九州北部豪雨による災害の例

上流端境界条件に流量を与える必要がない。また、同解析では堰や橋などの河川構造物をエネルギー損失項で簡易的に取り扱うことができる。モデルの詳細は参考文献¹⁰⁾を参照されたい。

上流端境界条件には花月観測所の水位ハイドログラフを、下流端境界条件には筑後川右岸流域を対象に実施した分布型流出・1次元河道網洪水流解析の解析結果⁹⁾を与えた。図-3に、解析に用いた上・下流端水位ハイドログラフを示す。河道横断面図には平成29年のものを、粗度係数には計画粗度係数を用いた。なお、越流が起きた場合には、限界流として河道から流出させた。

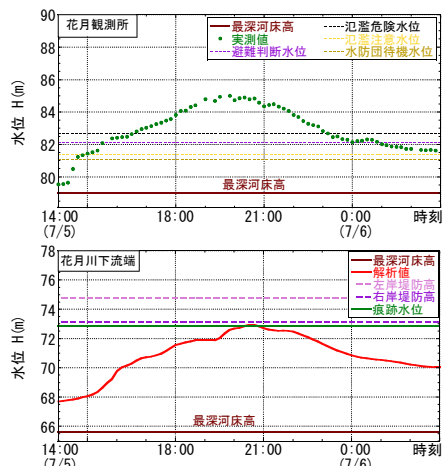


図-3 解析に用いた上・下流端水位ハイドログラフ

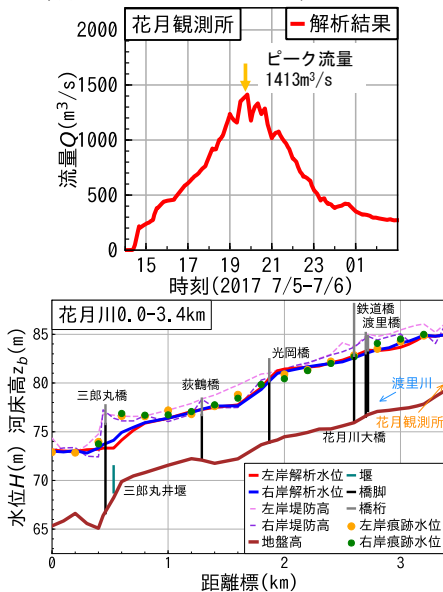


図-4 上流端流量ハイドログラフの解析結果，解析最大水位と痕跡水位との比較

(2) 結果と考察

図-4 に，上流端流量ハイドログラフの解析結果，解析最大水位と痕跡水位との比較を示す。これより，同モデルが距離標 0.6km 周辺で水位を過小評価しているものの，花月川の痕跡水位を十分な精度で再現していることが確認できる。距離標 0.6km 周辺では河道が急縮しており，そこでの横断面形状が不明であったため，その影響を解析に反映できなかったことが，差異の要因と考えられる。上流端流量ハイドログラフから，花月水位観測所でのピーク流量は $1,413\text{m}^3/\text{s}$ であることが確認できる。本解析結果は，平成 24 年 7 月豪雨でのピーク流量 $1,350\text{m}^3/\text{s}$ に比べ，若干大きいと同程度の流量となった。同区間では激甚事業により流下能力が向上されたことに加え，今次豪雨では同流域に約 1.6 倍の降雨量であったことにより，同観測所の流量は平成 24 年に比べ大きいことが予想される。同区間は経年的にも平均河床が低下しており，同区間での河床が変動したと考えられる。今回の解析では河床変動を考慮していないことから，流量が平成 24 年 7 月豪雨時と同程度となったと考えられる。

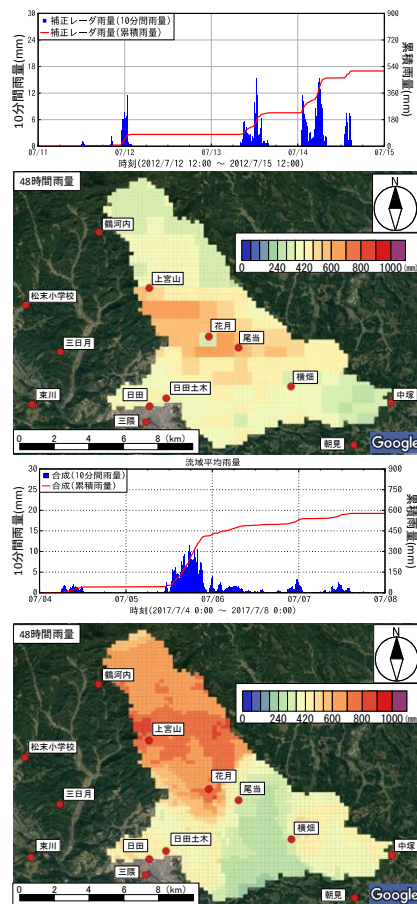


図-5 花月川流域の流域平均雨量と 48 時間雨量(上：平成 24 年，下：平成 29 年)

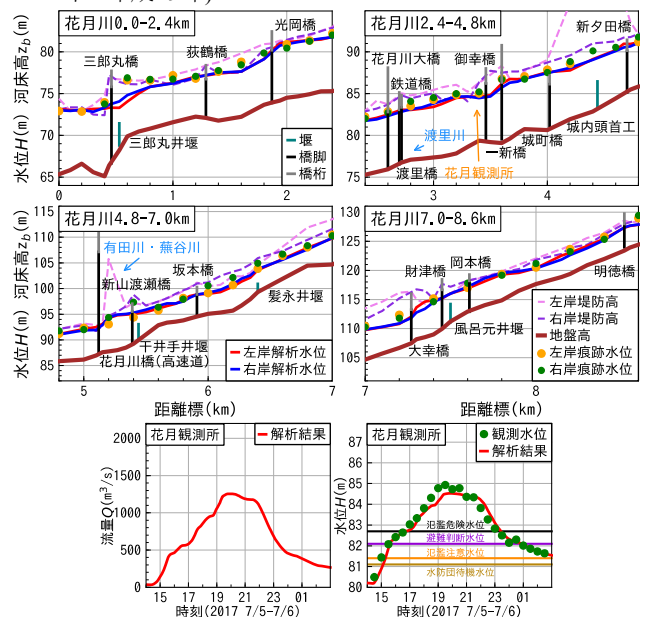


図-6 平成 29 年 7 月豪雨の痕跡水位，花月観測所の実測水位と解析結果

この点については，河床変動を考慮に入れた流量の推定を今後検討したいと考えている。また，水位と流量との関係を求めたところ，水位と流量は 1 対 1 の関係にあることが確認された。さらに，上・下流端に図-3 のピーク水位を与えて定常解析を行ったところ，流量の解析結果は $1,418\text{m}^3/\text{s}$ となり，不定流解析のピーク流量と概ね

一致した。これは、花月川は急流河川であり、同区間での河道の貯留効果が小さいためと考えられる。

4. 現地調査と数値解析結果に基づく花月川での被災要因の検討

上述のように、水位を境界条件とした平面 2 次元解析を用いれば流量の情報がなくとも洪水流を解析することは可能である。しかし、花月川での水位観測所は花月観測所しかなく、より広範囲の解析を実施するには、上流での流量や支川からの流入流量が必要となる。そこで、花月川の大臣管理区間を対象に、流域流出・洪水氾濫解析を実施し、河道内の流況を把握するとともに、解析結果に基づき花月川での被災要因を検討した。

(1) 流域流出・洪水氾濫解析の概要

解析には、「流域流出・洪水氾濫解析モデル」³⁾を用いた。同モデルは、降雨を外力として河川や氾濫原への流出流量を算定し、河川の下流端境界条件として水位ハイドログラフを与えることで、洪水追跡および浸水予測を行うモデルである。また、堰や橋などの河川構造物をエネルギー損失で簡易的に取り扱うことができる。モデルの詳細については、参考文献³⁾を参照されたい。

(2) 解析条件の概要

解析は平成24年7月および平成29年7月九州北部豪雨を対象に実施した。解析対象時刻は、平成24年7月14日0時～10時、平成29年7月5日14時～6日3時とした。入力条件として、平成24年7月豪雨については気象庁全国合成レーダGPV¹¹⁾を、平成29年7月豪雨については国土交通省が運用・管理するXRAIN¹²⁾を、流域内の雨量観測所の実績降雨に基づきダイナミックウィンドウ法¹³⁾で補正したレーダ雨量を用いた。分布型流出解析に必要な標高には、数値標高モデル¹⁴⁾を100mメッシュに補間したものを、土地利用データにはALOS2¹⁵⁾を用いた。図-5に花月川流域の48時間雨量と流域平均雨量を示す。

(3) 流域流出・洪水氾濫解析結果とその妥当性の検証

図-6に、平成29年7月豪雨の痕跡水位、花月観測所の実測水位と解析結果との比較を示す。これより、本解析結果は、花月観測所の実測水位、痕跡水位、浸水域、越水箇所を十分な精度で再現していることが確認できる。また、花月観測所でのピーク流量は、1,340m³/s程度であり、”3. 平成29年7月九州北部豪雨時の花月川の流量の把握”で検討したピーク流量と同程度であった。

(4) 被災要因・浸水プロセスの検討

以下では、現地調査結果と数値解析結果に基づき、今

次豪雨災害時の被災箇所の被災要因について検討した。被災要因を検討した区間は、a) 距離標 0.5km 付近、b) 距離標 2.7km の鉄道橋付近、c) 距離標 5.8km 付近である。

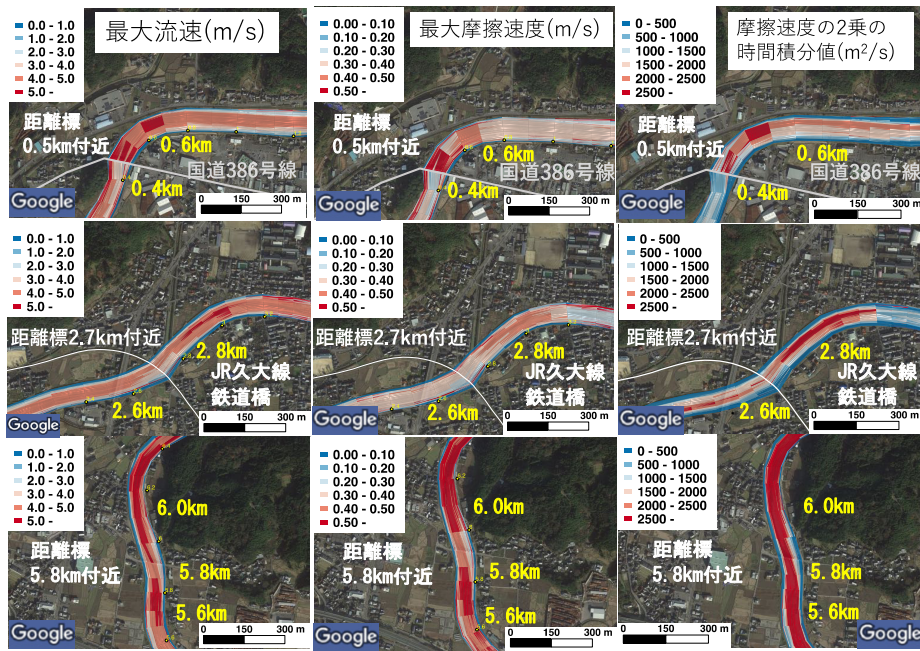
図-7に、区間 a)-c) 周辺での最大流速、最大摩擦速度、摩擦速度の2乗の時間積分値のコンター図を示す。通常、護岸の力学的設計¹⁶⁾等では代表流速として最大流速が用いられるが、ここでは流速、摩擦速度の最大値だけでなく、摩擦速度の2乗すなわち底面せん断力の作用時間を考慮した時間積分値¹⁷⁾もあわせて示している。積分時間は、平成24、29年7月豪雨のいずれも解析開始時刻から10時間とした。なお、平成24年7月豪雨については、紙面の関係上、b) 距離標 2.7km の鉄道橋付近のみを示す。図-8に、平成29年7月豪雨時について、黒木・岸の中規模河床形態の領域区分図¹⁷⁾より推定したピーク水位時の中規模河床形態の縦断変化を示す。各断面の解析結果に基づき、右の領域区分図から中規模河床形態を判断した。縦断図中に単列砂州が形成される区間については、赤のプロットでその範囲を示している。これらより、花月川は、ピーク水位時に多くの区間で単列砂州の発生しやすい条件であったことが確認できる。

a) 距離標 0.5km 付近の護岸損壊

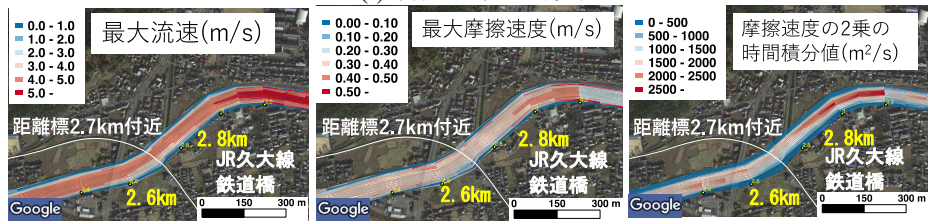
距離標 0.5km 付近では、写真-1(a)に示すように、国道 386 号線の三郎丸橋(0.5km)の右岸下流において護岸損壊が生じた。図-7に示すように、この周辺は湾曲部となっているために、右岸側の流速と摩擦速度が高い値となる。従って、右岸側が高流速となったことに加え、三郎丸橋橋脚による断面狭窄によって、掃流力が増加し、護岸損壊が生じたと推定される。

b) 距離標 2.7km の鉄道橋の流失

写真-1(d)に示すように JR 久大線鉄道橋が流失した。本鉄道橋は昭和9年に建設された。右岸から4基までは低水路に、最左岸の1基は高水敷に設置されている。橋脚は基礎の上に設置されており、両者の間には鉄筋等の付着性材料は存在しない。web 動画(<https://www.youtube.com/watch?v=4sEflI9qQxw>)を参照すると、橋脚転倒直後において本鉄道橋の上流右岸の堤防上に流木等が散乱しており、局所的に越水したと推定される。図-6の解析水位からも明らかのように、そこでの水位は橋桁まで到達しており、図-7に示すように、JR 久大線鉄道橋の右岸側では最大流速が大きく、最大摩擦速度も大きい。さらに、摩擦速度の2乗の時間積分値も高い。また、同区間の平成24年7月豪雨災害時の最大流速、最大摩擦速度、摩擦速度の2乗の時間積分値のコンター図と比較すると、最大流速や最大摩擦速度には大差はないが、平成29年豪雨の摩擦速度の2乗の時間積分値は、平成24年のものに比べ大きく上回った。これらのことから、右岸側の橋脚周辺では大きな掃流力が長時間作用し橋脚周辺が洗掘された状況で、水位が本鉄道橋の桁下まで達し、流体



(a) 平成 29 年 7 月 豪雨



(b) 平成 24 年 7 月 豪雨

図-7 最大流速，最大摩擦速度，摩擦速度の2乗の時間積分値のコンター図

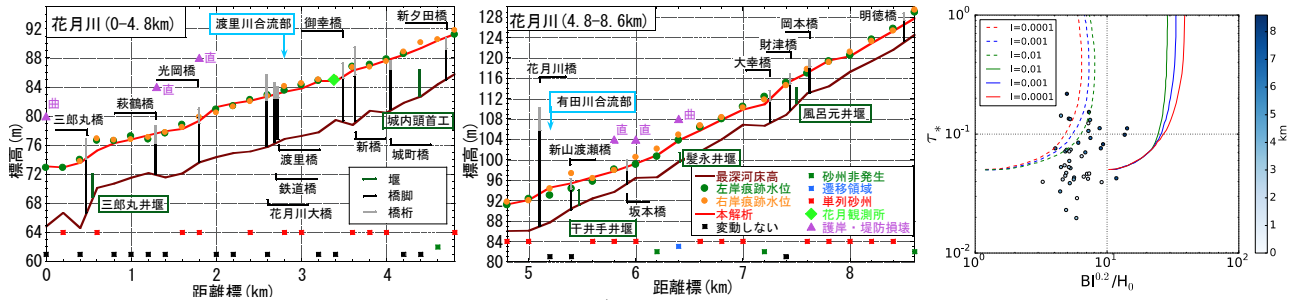


図-8 黒木・岸の中規模河床形態の領域区分図¹⁷⁾より推定したピーク水位時の中規模河床形態の縦断変化

力によるモーメントによって右岸側の橋脚が倒れ、それに伴い左岸側の橋脚も倒れたと考えられる。

c) 距離標 5.8km 付近の堤防洗掘

距離標 5.8km 付近では、写真-1(f)に示すように右岸で堤防洗掘が生じた。この付近は平成 24 年度に破堤しており、その原因として交互砂州による偏流が指摘されている¹⁸⁾。今次豪雨でも、図-7 に示すように、ピーク水位時に同区間の中規模河床形態は単列砂州となった。また、水深を h 、水面幅を B とすると、交互砂州の発生条件は、概ね $10 < B/h < 20$ となるが、有田川との合流前および合流後の今時ピーク水位時の B/h はそれぞれ 12, 10 であり、交互砂州の発生条件に当てはまる。さらに、図-7 から、同区間の最大摩擦速度は右岸側で 0.5m/s 程度と高く、大きな掃流力が長時間作用していたことも確認できる。以上から、同区間では、交互砂州の発生による

偏流により水衝部が生じた可能性が高く、高い掃流力が長時間作用したため堤防洗掘が発生したと推察される。

このように、花月川では $1,350\sim 1,400\text{m}^3/\text{s}$ 程度の大流量が流下したことに加え、その河道線形や中規模河床形態などの河道特性が、花月川での河川構造物の被災要因である。従って、同河川では流下能力の確保のみならず河道特性を踏まえ、河道の安定を考慮した河川改修が必要と考えられる。

5. おわりに

本研究では、花月川を対象に現地調査および数値解析を実施し、今次豪雨の被災要因を把握するとともに、今後の河道改修で考慮すべき点を検討した。その結果、花月観測所で $1,350\sim 1,400\text{m}^3/\text{s}$ 程度の大流量が流下したこと

に加え、その河道線形や中規模河床形態などの河道特性が、花月川での河川構造物の被災要因であったことを示した。そのため、同河川では流下能力と河道の安定性を考慮した改修が必要になると考えられ、そのための河道設定法に関する技術開発が望まれる。

謝辞：本研究の実施に当たり、国土交通省九州地方整備局河川部、文部科学省の委託事業により開発・運用されているデータ統合・解析システム(DIAS)からデータの提供を、科学研究費特別研究促進費(課題番号：17K20140, 研究代表者：秋山壽一郎), 基盤研究(C)(課題番号：16K06515, 研究代表者：重枝未玲)の助成を受けた。本学大学院生の泉考佑君, 窄友哉君, 当時、本学学生の大久保剛貴君(現国土交通省), 中木翔也君(現建設技術研究所), 西山晋平君(現北九州市), 小正実奈さん(現東京建設コンサルタント)には、現地調査やデータ整理等で多大な協力を得た。ここに記して感謝の意を表す。

参考文献

- 1) 筑後川右岸流域河川・砂防復旧技術検討委員会：筑後川右岸流域河川・砂防復旧技術検討委員会報告書, http://www.qsr.mlit.go.jp/site_files/file/bousai_joho/tecforce/H29hokubugou_data/171122houkokusyoy11.pdf, 2017.
- 2) 土木学会九州北部豪雨災害調査団：平成 24 年 7 月九州北部豪雨災害調査団報告書, p.104, 2013.
- 3) 重枝未玲：降雨を外力とした流域流出・洪水氾濫解析, ながれ, 第 37 巻, No.1, pp.33-40, 2018.
- 4) 工藤勝次, 永野貴也, 松本秀一：花月川激特事業での河川整備について, http://www.qsr.mlit.go.jp/n-shiryokenkyu/program/03/03_03.pdf, 2015.
- 5) 重枝未玲, 秋山壽一郎, 大久保剛貴, 中島晴紀：平成 29 年 7 月九州北部豪雨時の花月川流域の流域流出・洪水氾濫解析, 河川技術論文集, 第 24 巻, pp.451-456, 2018.
- 6) 国土交通省九州地方整備局：梅雨前線に伴う平成 29 年 7 月 5 日出水について(第 3 報), http://www.qsr.mlit.go.jp/site_files/file/bousai_kasen03.pdf, 2017.
- 7) 川口敦郎, 原田大輔, 知花武佳：河道特性が護岸被災の被災形態に与える影響とそのメカニズム, 河川技術論文集, 第 18 巻, pp.257-262, 2012.
- 8) 安田浩保, 高橋 玄, 酒井公生, 竹村仁志：五十嵐川における河川構造物への流速の作用時間に着目した被災要因の分析, 河川技術論文集, 第 18 巻, pp.245-250, 2012.
- 9) 重枝未玲, 秋山壽一郎, 平松裕樹, 松本拓磨：平成 24 年豪雨災害時の彦山川の護岸・河岸の被災プロセスの検討, 土木学会論文集 B1(水工学), Vol.71, No.4, pp.I-1399-I-1404, 2015.
- 10) 重枝未玲, 秋山壽一郎, 大久保剛貴, 中島晴紀：水位ハイドログラフを境界条件とした平面 2 次元洪水流解析, 土木学会論文集 B1(水工学), Vol.74, No.4, I-1453-I-1458, 2018.
- 11) 気象庁：配信資料に関する技術情報(気象編)第 162 号, 気象庁観測部, 2004.
- 12) DIAS：<http://www.diasjp.net/service/xrain/>, 2017.
- 13) 山口高志, 北川明, 小野寺直, 高水克哉, 幸弘美：レーダ雨量計の精度向上について, 河川情報研究, No.1, pp.91-104, 1993.
- 14) 国土地理院：基盤地図情報, <https://fgd.gsi.go.jp/download/mapGis.php?tab=dem>, 2018.
- 15) JAXA：高解像度土地利用土地被覆図ホームページ, http://www.eorc.jaxa.jp/ALOS/tulc/jluc_jpn.htm, 1997.
- 16) 国土技術研究センター編：護岸の力学的設計法, 山海堂, 1999.
- 17) 黒木幹男, 岸力：中規模河床形態の領域区分に関する理論的研究, 土木学会論文報告集, pp.87-96, 1984.
- 18) 古賀俊行：九州における大規模災害とその対応, 2014 年度(第 50 回)水工学に関する夏期研修会講義集, A-3, 2014. (2018. 5. 31 受付)

EXAMINATION OF THE DISASTER PROCESS OF RIVER MANAGEMENT FACILITIES AND A RAILWAY BRIDGE IN THE KAGETSU RIVER AT KYUSHU-HOKUBU HEAVY RAIN IN 2017

Mirei SHIGE-EDA, Juichiro AKIYAMA, Kouki ONITSUKA, Haruki NAKASHIMA, Ryosuke KATSUHARA and Yuuki KATSURA

The disaster process of river management facilities and a railway bridge in the Kagetsu river at Kyushu-hokubu heavy rain in 2017 was examined through the a field survey and numerical simulation of flood flows. The discharge hydrograph at the Kagetsu water level observation station was obtained by a two-dimensional flood flow analysis using water level hydrographs as boundary conditions. The maximum and time integrated velocity, friction velocity were obtained by distributed hydrological model for rain-fall runoff in watershed and 2D unsteady free-surface flow analysis. Through these results, disaster process of river management facilities and a railway bridge were examined.