

第7章 遠賀川水系の災害

7.1 はじめに

2012年7月3日および13~14日にかけて、九州北部に梅雨前線が停滞し、前線に暖かく湿った空気が流れ込み豪雨となった。この豪雨は、九州北部の5水系7河川で氾濫を引き起こし、福岡、大分、熊本県で甚大な被害をもたらした。遠賀川流域では、7月3日の豪雨で護岸の被災が、13~14日の豪雨で浸水被害や護岸の被災などが生じた。

本章では、(1) 遠賀川流域での豪雨災害の浸水および護岸等の被災状況を把握し、(2) 現地調査と数値解析に基づき遠賀川の1次支川である彦山川での護岸の被災プロセスを、また(3) 数値解析に基づき短時間集中豪雨に対する遠賀川流域の洪水特性を検討した。

7.2 遠賀川流域の豪雨災害の概要

7.2.1 遠賀川と流域の概要(国土交通省九州地方整備局(2007))

遠賀川流域は、三方を福智山地、英彦山地、三郡山地で囲まれている。流域面積は1,026(km²)であり、土地利用は、森林が約52%、水田や果樹園等の農地が約19%、宅地等市街地が約18%、荒地が約6%を占めている。遠賀川は幹川流路延長61(km)の一級河川で、その支川には穂波川、中元寺川、彦山川、金辺川、八木山川、犬鳴川、笹尾川、黒川、西川などがある。遠賀川の基準地点は日の出橋であり、そこでの計画高水位はT.P. 10.46(m)、計画高水流量は4,800(m³/s)、整備計画目標流量は3,800(m³/s)である。図7.1に遠賀川流域の航空写真と雨量・水位観測所を示す。

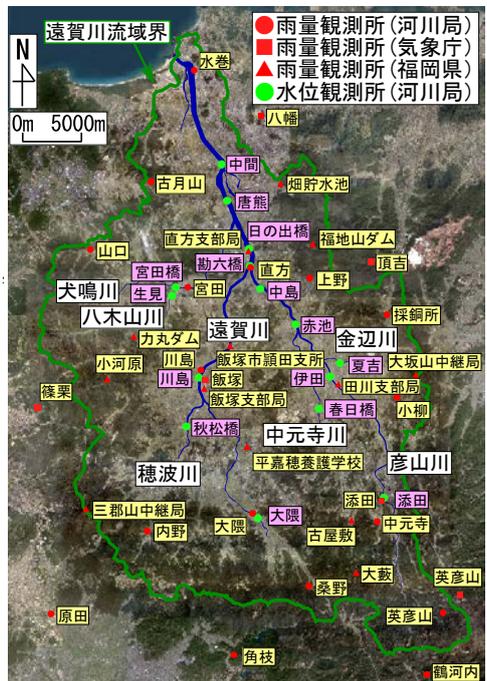


図 7.1 遠賀川流域の概要

遠賀川では度々洪水が発生し、特に昭和10年6月、昭和16年6月、昭和28年6月に大洪水が発生した。最近では平成15年7月に、集中豪雨による内水氾濫により甚大な被害が生じた。遠賀川流域の浸水被害は、内水氾濫によって生じる場合が多く、住宅地が発達している中下流域の低地部で頻繁に発生する点が特徴である。

7.2.2 気象および降雨の概要

図7.2は、7月3日および7月13~14日豪雨時について、流域平均10分間雨量の降雨ハイトグラフを示したものである。なお、遠賀川流域の計画降雨継続時間は2日間(48時間)である。これより、いずれの豪雨も、(1) 2~3時間程度の短時間集中豪雨であり、(2) 7月3日では一山波形、(3) 7月13~14日

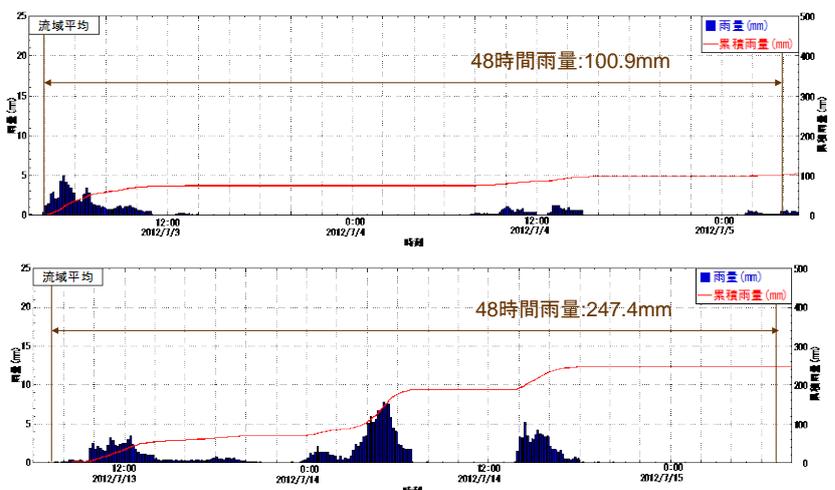


図 7.2 流域平均降雨ハイトグラフ
(上: 7月3日, 下: 7月13~14日)

いずれの豪雨も、(1) 2~3時間程度の短時間集中豪雨であり、(2) 7月3日では一山波形、(3) 7月13~14日

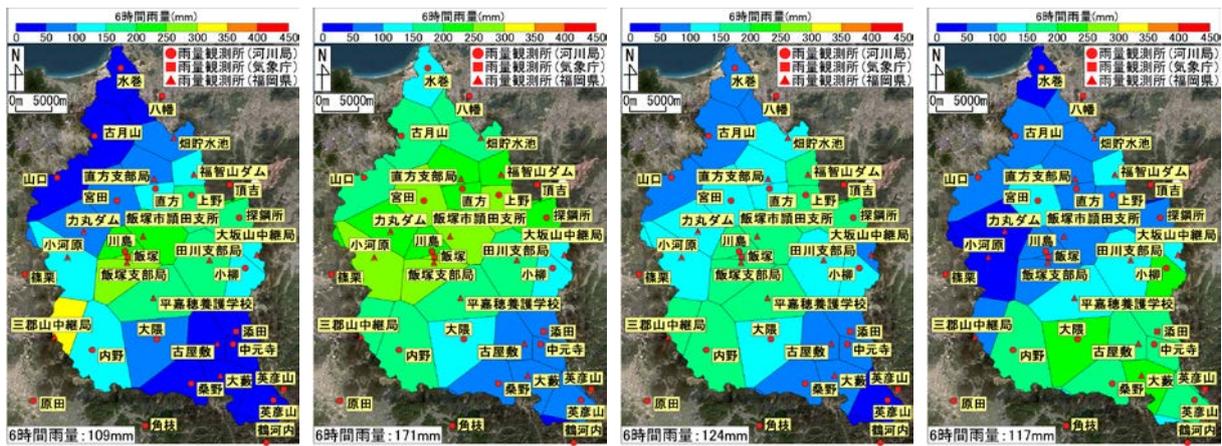


図 7.3 代表的な出水の6時間雨量の分布図（左から，2003年，2009年，2010年，2012年）



図 7.4 6時間雨量と流域平均雨量との差の分布図（左から，2003年，2009年，2010年，2012年）

では三山波形であることが確認できる。なお，7月3日豪雨と13~14日の48時間雨量の確率規模は，それぞれ1/1と1/17であった。

図 7.3 は，近年の代表的な出水である 2003 年，2009 年，2010 年の 7 月および 2012 年 7 月 13~14 日豪雨の 6 時間雨量分布を示したものである。図中には各降雨の流域平均 6 時間雨量も併せて示している。また，図 7.4 は，図 7.3 の 6 時間雨量と流域平均雨量との差を分布図にしたものである。分割領域中の赤色は流域平均よりも降雨量が多いこと，青色は小さいことを表している。これらより，(1) 2003 年，2009 年，2010 年は中流域に集中した降雨であること，2003 年と 2009 年では 2003 年の方が上流域まで降雨が集中していること，また，2003 年と 2010 年の分布が類似していること，(2) 一方，2012 年では中流域降雨とは異なり，上流域に集中した降雨であること，などが確認できる。

このように，今次豪雨は，①短時間集中豪雨，②遠賀川・彦山川の上流部を中心にした豪雨，の 2 点が特徴である。

7.2.3 出水状況と被害の概要

a) 出水状況

7 月 13~14 日の出水では，氾濫危険水位を超えた観測所は，遠賀川本川の日の出橋，川島水位観測所，彦山川の伊田水位

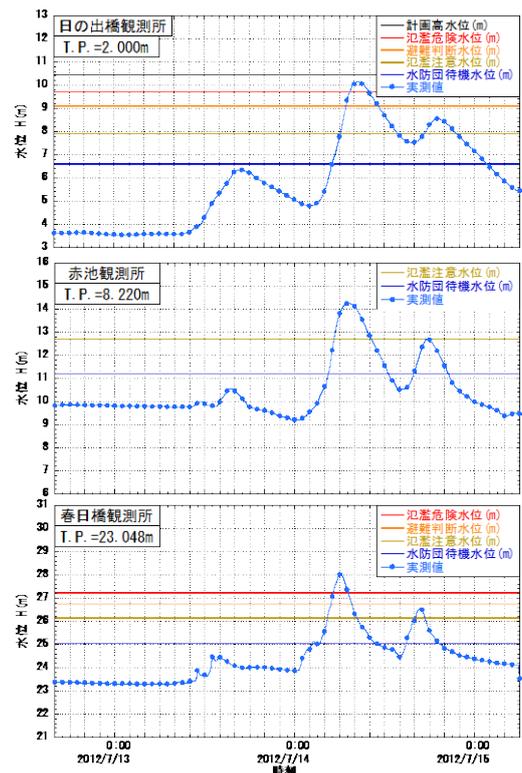


図 7.5 水位ハイドログラフの一例

観測，中元寺川の春日橋水位観測所，穂波川の秋松橋水位観測所の計 5 観測所で，観測史上第 1 位の水位を記録した観測所は，遠賀川本川の日の出橋，勘六橋，大隈水位観測所，彦山川の中島，赤池，添田水位観測所，中元寺川の春日橋水位観測所の計 7 観測所であった。

図 7.5 は，7 月 13 日～14 日豪雨時の遠賀川の計画基準点の日の出橋，彦山川の赤池，中元寺川の春日橋水位観測所の水

位ハイドログラフを示したものである。これより，(1) いずれも三山波形であること，(2) いずれも二山目のピークが最大であること，(3) 氾濫注意水位を超えてから，2 時間程度で氾濫危険水位よりも水位が上昇したこと，(4) その水位上昇速度は，日の出橋と春日橋では 2.0(m/h)，赤池では 1.2(m/h)であったこと，などが確認できる。このように，本出水は，水位上昇が急激であった点に特徴がある。

b) 被害状況

図 7.6 は，7 月 3 日出水の河川管理施設の被災箇所と 7 月 13~14 日出水の浸水および被災箇所の概要を示したものである。7 月 23 日時点の調査では，7 月 13~14 日の出水で浸水面積 123(ha)，浸水家屋数 637 戸(床上浸水：147 戸，床下浸水：490 戸)の浸水被害が，また，彦山川を中心に護岸崩落などの被害が，調査中のものも含めて 7 月 3 日で 2 箇所，7 月 13~14 日の出水で 5 箇所確認された。

7.3 彦山川での護岸の被災プロセスの検討

現地調査および数値解析に基づき，彦山川での護岸の被災プロセスを検討した。数値解析には，分布型流出・平面 2 次元洪水追跡モデル(重枝ら(2010)，重枝ら(2012))を用いた。同モデルは，①セル分布型流出解析モデルと②平面 2 次元洪水追跡モデルとで構成されており，降雨を外力として河川への流出流量を算定し，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，本支川の洪水追跡を行うことが可能なモデルである。モデル①で小流域と都市域に含まれる斜面部の雨水の挙動解析と河川への流出計算を行い，本川下流端の水位を境界条件として，モデル②で本川の洪水追跡，支川の洪水流を一体的に解析する。モデルの詳細については，参考文献(重枝ら(2010)，重枝ら(2012))を参照されたい。

7.3.1 数値モデルの検証

図 7.7 は，彦山川の赤池，伊田，添田水位観測の実測水位と解析結果との比較を行ったものである。これより，本解析では堰を考慮していないために水位が比較的小さな時間帯で若干の誤差が生じているものの，本解析結果はピーク値やその波形を十分な精度で再現していることが確認できる。

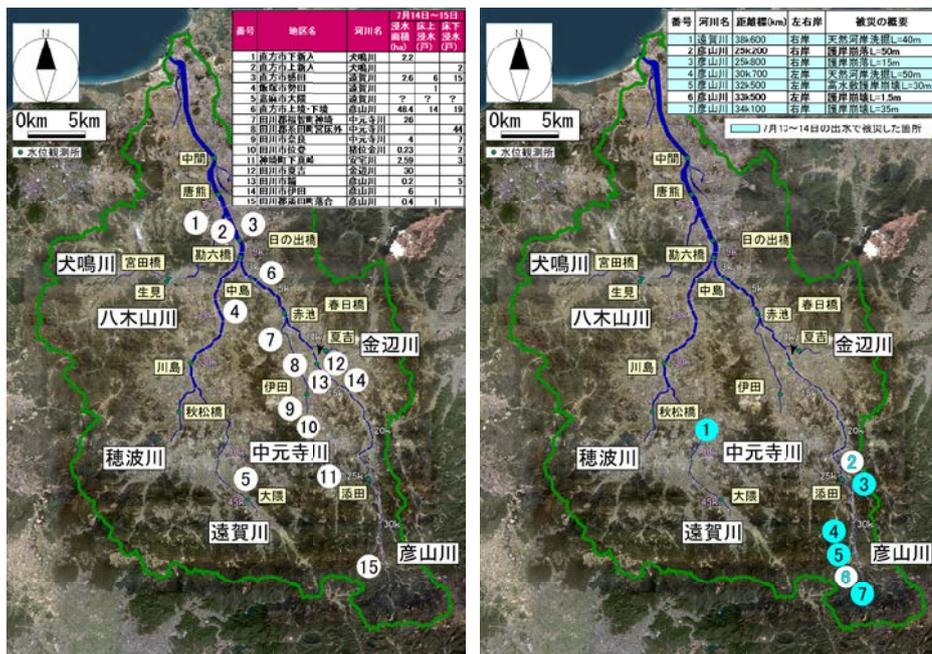


図 7.6 浸水と河川管理施設の被災箇所の概要
(左：浸水箇所，右：河川管理施設の被災箇所)

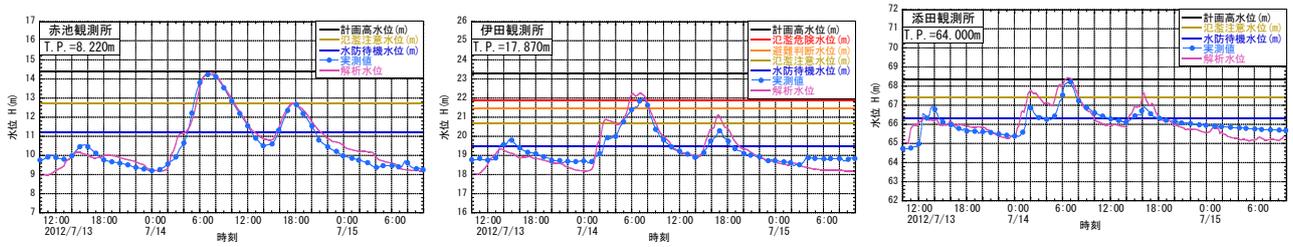


図7.7 水位ハイドログラフの解析結果と実測値との比較

7.3.2 現地調査と数値解析に基づく被災状況の把握と被災プロセスの検討

以下では、現地調査結果と前述の数値解析結果とに基づき、図7.6中の被災箇所②と⑦の護岸の被災プロセスについて検討する。

図7.8は、被災箇所②と⑦の被災状況を示した



図7.8 被災箇所②と⑦の被災状況

ものである。被災箇所②では、7月3日の出水により護岸崩落が生じた。現地調査から、(1)この箇所の護岸は空石積護岸であり、裏込材には大きな玉石が混在していたこと、その直高は5m以上であり、法勾配は5分勾配であったこと、昭和40年以前に設置されたもので老朽化していたこと、(2)この区間の河床勾配は1/120程度であり、左岸側に州が形成されていたこと、護岸崩落箇所は水衝部に当たっていたこと、この区間の河床は低下傾向にあったこと、などが確認された。被災箇所⑦では7月13~14日の出水により、護岸崩落と家屋の流出が生じた。現地調査から、(1)この箇所の護岸は直高5m以上であり、法勾配は5分勾配であったこと、隙間から植生が繁茂しており、護岸が老朽化していたこと、(2)この区間の河床勾配は1/70程度であり、上下流の線形から張り出しているため水衝部となること、この区間の河床は低下傾向にあること、などが確認された。

図7.9は、数値解析結果の最大流速、流速の時間積分値、最大摩擦速度、摩擦速度の時間積分値のコンター図を示したものである。通常、護岸の力学設計等(国土技術研究センター(1999))では代表流速として最大流速が用いられるが、ここでは流速や摩擦速度などの最大値だけでなく、それらの作用時間を考慮した流速の時間積分値と摩擦速度の時間積分値(安田ら(2012))も併せて示している。これらの解析結果に着目すると、(1)7月3日と13~14日のいずれも崩落箇所周辺の流速は大きく水衝部であること、(2)この区間の最大流速と摩擦速度は、それぞれ7月3日では3.5m/s程度と0.35m/s程度、7月13~14日では5.0m/s程度と0.50m/s程度であること、(3)流速や摩擦速度の時間積分値は大きく、流速や摩擦速度が大きい状況が長時間続いたこと、などが確認できる。このように、護岸崩落等の被災箇所では、最大流速と摩擦速度が大きく、かつ大きな流速と摩擦速度が長時間作用していたと推察される。

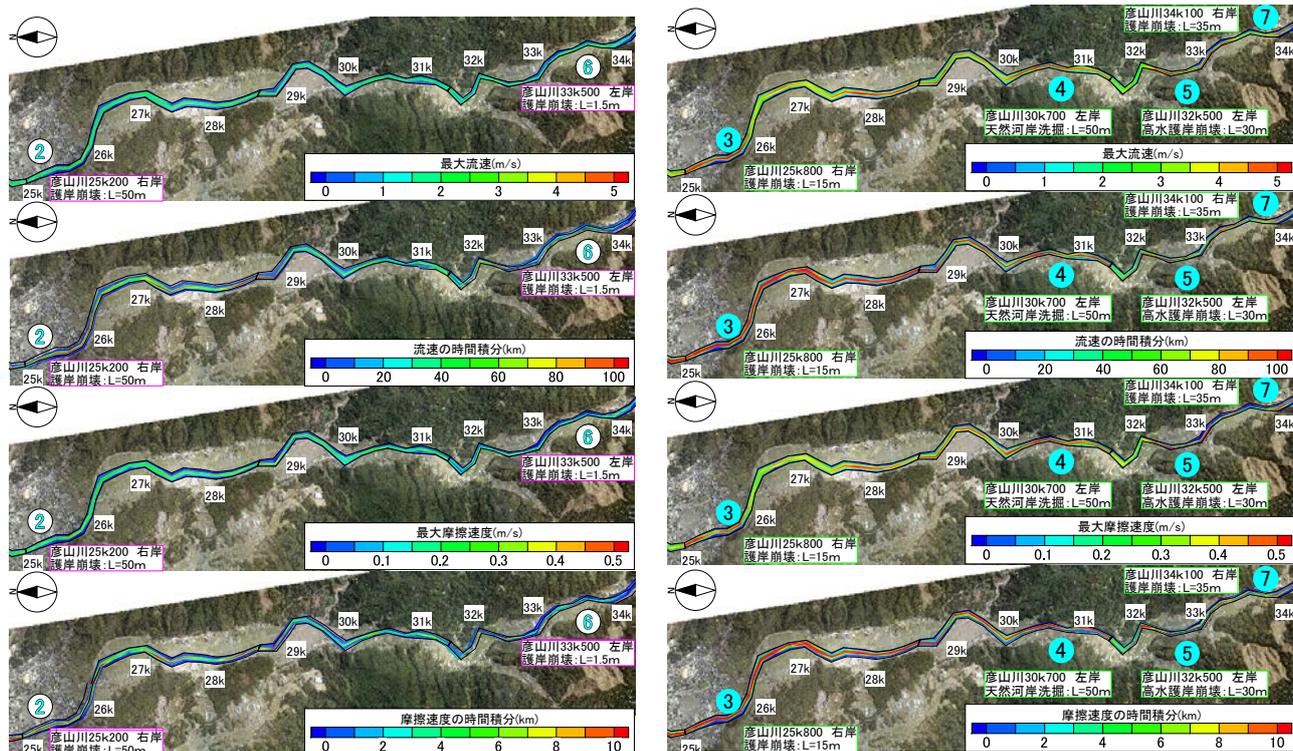


図 7.9 最大流速，流速の時間積分値，最大摩擦速度，摩擦速度の時間積分値のカウンター図の解析結果（左：7月3日，右：7月13～14日）

現地調査と解析結果を踏まえると，被災箇所②と⑦での被災プロセスは次のようであったと考えられる。被災箇所②では，(1) 護岸崩落個所の河床は低下する傾向にあった。(2) 護岸崩落個所は水衝部であった。(3)この区間では大きな流速と摩擦速度が長時間発生した。(4) そのため，護岸と周辺の河床は大きな外力を長時間受けた。(5)これに加え，護岸が直交 5m 以上の 5 分勾配で，かつ老朽化していたため，その形状を維持できず崩落した。被災箇所⑦では，被災箇所②と同様に，(1) 護岸崩落個所は河床が低下する傾向にあった。(2)護岸崩落個所は水衝部であった。(3)この区間では大きな流速と摩擦速度が長時間発生した。(4)そのため，護岸および河床が大きな外力を長時間受けた。(5)これに加え，護岸が直高 5m 以上の 5 分勾配で，かつ老朽化していたため，その形状を維持できず崩落した。(6)さらに，護岸上にあった家屋が流出した。

上記のように，被災箇所は，(A)護岸が老朽化していたこと，(B)水衝部であったこと，(C)最大流速と摩擦速度が大きく，かつその状態が長時間であったことが共通していた。図 7.9 に着目すると，他の被災区間③～⑥についても，(B)と(C)については同様な傾向を示している。その一方で，被災が生じていない区間も存在する。今後は，被災が生じた区間とそうでない区間で差異が生じた要因を検討し，護岸の質や最大流速と摩擦速度およびその時間積分値なども含め，護岸等の被災危険性を評価する指標について検討したいと考えている。

7.4 短時間豪雨に対する遠賀川流域の洪水特性の検討

最後に，数値解析に基づき，本災害の特徴でもある短時間集中豪雨に対する遠賀川流域の洪水特性について検討した。

7.4.1 降雨外力の設定と解析条件

解析の降雨外力には，2003年7月，2009年7月，2012年7月の実績降雨に基づく仮想的な降雨を

与えた。降雨外力の降雨継続時間と流域平均雨量は、遠賀川流域に隣接する山国川流域での2012年7月の九州北部

表 7.1 解析条件

Run No.	降雨波形	降雨の空間分布
Run1	a	流域一樣分布
	b	実績に基づく分布
Run2	a	流域一樣分布
	b	実績に基づく分布
Run3	a	流域一樣分布
	b	実績に基づく分布

豪雨災害時の降雨状況を参考に次のように設定した。山国川流域では9箇所の観測所で3時間雨量の観測史上最大を更新し、流域平均の3時間雨量で147mm、6時間雨量で194mmを記録した。遠賀川流域でも、雨域がずれていれば同様な豪雨となった可能性があることを踏まえ、ここでは、降雨外力の降雨継続時間を6時間、6時間流域平均雨量を194mmに設定した。なお、降雨量194mmを遠賀川の計画降雨継続時間である48時間の雨量とすると、確率規模は1/3程度になる。

仮想的な降雨の降雨波形と空間分布については、2003年、2009年、2012年の実績降雨に基づき設定した。流域平均および各観測所の仮想的な降雨ハイドログラフの作成方法は次の通りである。まず、①図7.2に示す流域平均の降雨ハイドログラフを作成する。次に、②各観測所と時間に対して、図7.4のような時間雨量と流域平均雨量との差の分布図を作成する。③①の流域平均降雨ハイドログラフの6時間雨量が194mmとなるように、降雨倍率方式で一律に引き伸ばすことで、図7.10に示す流域平均降雨ハイドログラフを作成する。④③で作成した流域平均降雨ハイドログラフに、②で作成した差分を加えることで、各観測所の降雨ハイドログラフを作成する。各観測所で④の方法を採用したのは、降雨倍率方式による非現実的な降雨量を避けることができ、降雨制限方式に比べより空間分布の違いが明確になると考えたためである。なお、全ての降雨に対して時間雨量の最大値は125mmであった。

表7.1に解析条件を示す。Run1では2003年7月、Run2では2009年7月、Run3では2012年7月の実績降雨より作成した仮想降雨を与え、それぞれのRunで流域一樣に流域平均降雨ハイドログラフを与えたRun1-a、Run2-a、Run3-a、各観測所の実績降雨に基づく空間分布を与えたRun1-b、Run2-b、Run3-bを行った。なお、河道から越水が生じた場合には、限界水深を堤防上の境界条件として与え、完全越流状態で河道から流出すると仮定した。また、破堤は考慮していない。

7.4.2 計画基準点の日の出橋での洪水特性

図7.11は、遠賀川の計画基準地点である日の出橋の水位・流量ハイドログラフと水位と流量との関係

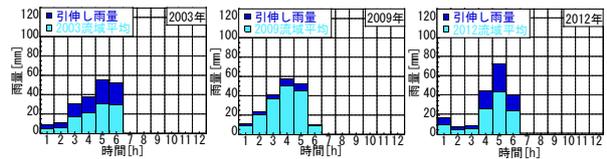
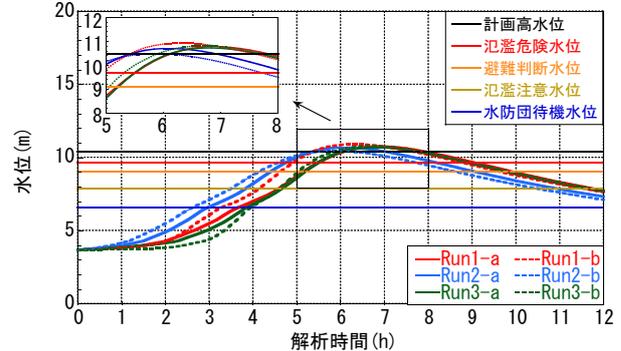
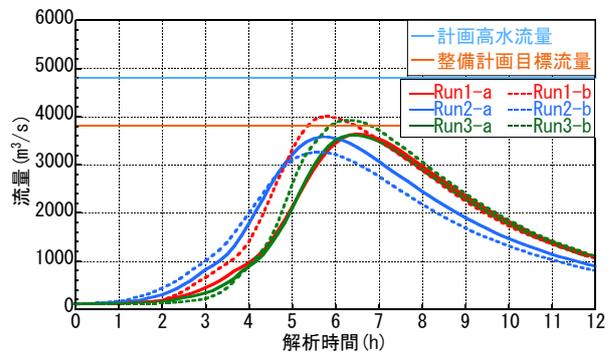


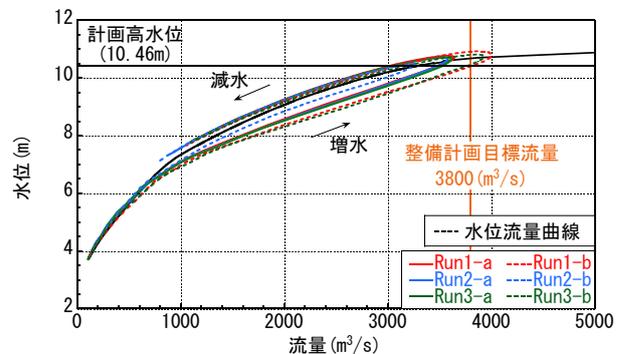
図 7.10 引き伸ばした流域平均降雨ハイドログラフ



(a) 水位ハイドログラフ



(b) 流量ハイドログラフ



(c) 水位と流量との関係

図 7.11 計画基準点の日の出橋での水位・流量ハイドログラフと水位と流量との関係

係について解析結果を示したものである。なお、図中には計画高水位、計画高水流量、整備計画目標流量、解析結果より作成した水位流量曲線も併せて示している。水位ハイドログラフから、(1) いずれの Run においても計画高水位まで水位が上昇すること、(2) Run1-a, Run2-a, Run3-a では時間のずれはあるものの、ピーク値、水位上昇速度のいずれも同程度であること、(3) Run1-b, Run2-b, Run3-b では、ピーク水位が Run1-b, Run3-b, Run2-b の順で大きいこと、(4) 雨量が流域で一様な Run1-a~3-a と空間分布を持つ Run1-b~3-b を比較すると、Run1 と 3

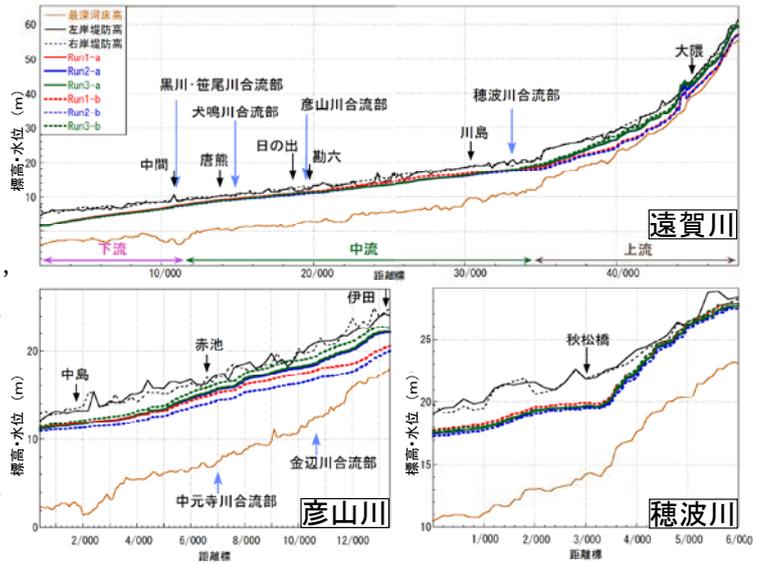


図 7.12 ピーク水位の縦断変化

では空間分布がある Run1-b と 3-b の方が、増水時の水位上昇速度が速くなること、Run2 ではあまり変化しないこと、などが確認できる。流量ハイドログラフから、(1) ピーク流量は Run1-b, Run3-b で整備計画目標流量の $3,800\text{m}^3/\text{s}$ を超えること、その他のケースは小さいこと、(2) Run1-a, Run2-a, Run3-a では、水位ハイドログラフと同様、時間のずれはあるものの、ピーク値、水位上昇速度ともに同程度であること、(3) Run1-b, Run2-b, Run3-b ではピーク流量は、水位と同様に Run1-b, Run3-b, Run2-b の順で大きいこと、また、Run1-b, Run3-b は同程度であるが、Run2-b は小さくなること、(4) 雨量が流域で一様な Run1-a~3-a と空間分布を持つ Run1-b~3-b を比較すると、空間分布がある Run1-b と Run3-b では増水時の流量の増加率は大きく、Run2-b では小さくなること、などが確認できる。水位と流量との関係から、(1) Run1-a, Run2-a, Run3-a では、水位と流量との関係に大きな変化はなく、同じ形でループを描くこと、(2) Run1-b, Run2-b, Run3-b では、いずれもループを描くが、Run1-b, Run3-b と Run2-b ではその形は異なること、(3) 減水時のループは、いずれも Run についても同様な形になること、(4) 水位流量曲線から整備計画目標流量 $3,800(\text{m}^3/\text{s})$ から求まる水位は 10.72m であり、計画高水位程度となること、などが確認できる。2012年7月の九州北部豪雨災害では48時間降雨量が 250mm 、6時間雨量が 117mm 、3時間雨量 96mm であったが、日の出橋では既往最大水位 10.17m を記録していることを踏まえると、上記の検討結果は妥当であると考えられる。

以上をまとめると、遠賀川の計画基準地点である日の出橋水位観測所での短時間集中豪雨に対するレスポンスは次の通りである。①水位は、降雨の波形・空間分布に関係なく計画高水位を超える。②一方、流量は、空間分布によっては整備計画目標流量を超える。③水位・流量のいずれも Run1-b のように Run2-b の中流域よりも上流側に集中する空間分布や、Run3-b のように上流域に降雨が集中する空間分布の場合に大きくなる傾向にある。

7.4.3 各河川の最大水位と越水状況

図 7.12 は、遠賀川とその支川の穂波川、彦山川のピーク水位の縦断変化を示したものである。これより、(1) Run1~3-a の比較から降雨波形による違いはないこと、(2) Run1~3-b の比較から、空間分布による違いは、遠賀川の上~中流と彦山川の全区間で生じること、(3) Run3-b のような空間分布の場合、彦山川および遠賀川上流で水位が上昇し危険な状況になること、(4) Run1-b のような降雨の場合、遠賀川中流で水位が上昇し危険な状況になること、などが確認できる。図 7.13 は、水位が堤防を越える区間をまとめたものである。これらの区間では、当然のことながら、外水氾濫に対する備えが必要になる。な

お、日の出橋より下流では越水は生じなかった。

以上から、(1) 遠賀川流域に短時間集中豪雨が降った場合には、計画基準地点の日の出橋で計画高水位以上になる可能性が高くなること、(2) 各河川で越水が発生する可能性の高い区間は図 7.13 であること、などが推定された。

7.5 おわりに

本章では、遠賀川流域での豪雨災害の概要を述べるとともに、遠賀川の1次支川である彦山川について現地調査と数値解析を行い、本出水での河川管理施設の被災状況の把握と被災プロセスを検討するとともに、数値解析に基づき、短時間集中豪雨に対する遠賀川流域の洪水特性について検討した。その結果、(1)本災害で被災した護岸は、(A)護岸の質が維持できておらず、(B)水衝部であり、(C)最大流速と摩擦速度が大きく、かつその状態が長時間である箇所であったこと、などが確認された。最大流速と摩擦速度およびその時間積分値が高い区間は、護岸等が被災する危険性があり治水に注意を要する区間と考えられるが、被災が生じた区間とそうでない区間が存在するため、今後、その差異が生じた要因を検討し、護岸の質なども含め護岸等の被災危険性の評価法に繋げたい。次に、遠賀川流域に短時間集中豪雨が降った場合には、(2) 計画基準地点の日の出橋で計画高水位以上になる可能性が高いこと、(3) 各川で越水が発生する可能性の高い区間は図 7.13 であること、などが確認された。このような区間では浸水被害が発生する危険性が高いことから、危機管理上注意を要する区間として、出水時に水位のモニタリングを注意して行う必要がある。

(秋山壽一郎・重枝未玲)

謝辞：本研究を実施するに当たり、遠賀川河川事務所の関係各位にはデータの提供などで多大な協力をいただいた。また、野村心平君(九州工業大学大学院)、丹生捺貴さん、石川知弘君、鷹尾忍君(九州工業大学工学部)にはデータ整理等で協力をいただいた。ここに記して感謝の意を表します。

参考文献：

- 1)国土技術研究センター編：護岸の力学設計法，山海堂，1999。
- 2)国土交通省九州地方整備局：遠賀川水系河川整備計画【大臣管理区間】，2007。
- 3)重枝未玲，秋山壽一郎，小園裕司，上川謙：遠賀川流域の分布型流出解析と平面2次元洪水追跡，水工学論文集，第54巻，pp.517-522，2010。
- 4)重枝未玲，秋山壽一郎，草野浩之，野村心平：高解像度風上解法を用いた遠賀川流域の分布型流出・平面2次元洪水追跡と改修効果の評価，土木学会論文集B1(水工学)，Vol.68，No.4，pp.I_1429-I_1434，2012。
- 5)安田浩保，高橋玄，酒井公生，竹村仁：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。



図 7.13 各河川の越水発生区間