

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

EXAMINATION OF THE DISASTER PROCESS OF REVETMENTS
IN THE HIKOSAN RIVER AT KYUSHU-HOKUBU HEAVY RAIN IN 2014

重枝未玲¹・秋山壽一郎²・平松裕樹³・松本拓磨³

Mirei SHIGE-EDA, Juichiro AKIYAMA, Yuki HIRAMATSU and Takuma MATSUMOTO

¹正会員 博士(工) 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)

²フェロー会員 Ph.D. 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)

³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)

The disaster process of revetments in the Hikosan river at Kyushu-hokubu heavy rain in 2014 was examined through the temporal variation of river channel, a field survey and numerical simulation of flood flows. The temporal change of bed level, position of deepest bed level and low flow channel were obtained from cross-section. The maximum and time integrated velocity, friction velocity were obtained by distributed hydrological model for rain-fall runoffs in watershed and 2D unsteady free-surface flow model based on flux-difference splitting scheme and unstructured finite-volume method for flood flows in the river were used for the numerical simulation. Through these results, damage process of revetments were examined.

Key Words : *Hikosan river, Kyushu hokubu heavy rain 2014, disaster process, revetments, numerical simulation, temporal variation of river channel*

1. はじめに

近年、安全・安心が持続可能な河川管理が求められている。平成23年には河川砂防技術基準維持管理編¹⁾が策定され、河川の維持管理は本格的な計画型管理へと移行している。河川の維持管理を行う上で、過去の出水時で生じた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極めて重要であり、その仕組みづくりも行われている²⁾。

平成24年7月に九州北部を襲った豪雨は、過去に体験したことのないような豪雨であり、北部九州の各地で甚大な被害が生じた³⁾。このような豪雨が発生する可能性は、年最大日雨量が増大することも予測⁴⁾されていることを踏まえると、ますます高くなると考えられる。そのため、九州北部豪雨災害の被災状況を分析することで得られる知見は、今後の河道管理にとって示唆に富んだものと考えられる。

本研究で対象とする彦山川は遠賀川の支川であり、平成24年7月豪雨災害時に護岸崩落や河岸の洗掘等の被害

が生じている^{3),6)}。護岸については、その設計方法がマニュアル化⁷⁾され、破壊要因や主な破壊形態、設置状態により力学的安定度を検討するモデルが示されている。また、被災区間を推定することを目的に、河道横断・縦断・平面形状などの河道特性と被災箇所との関係を調べた研究⁸⁾や数値解析に基づき流速の作用時間を用いた被災箇所の評価指標を検討した研究⁹⁾も存在する。このような河道特性、評価指標に基づき、護岸の被災箇所を推定することができれば、維持管理を行う上で極めて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、平成24年7月豪雨で護岸や河岸の被災が生じた彦山川を対象に、河道の経年変化、現地調査結果、数値解析結果に基づき、護岸の被災プロセスを検討したものである。ここでは、平成24年7月豪雨の彦山川での洪水を対象に、著者らが開発した「分布型流出・平面2次元洪水追跡モデル」¹⁰⁾の予測精度を検証した後、彦山川の河道の経年変化や護岸の被災状況の現地調査結果および「分布型流出・平面2次元洪水追跡モデル」による数値解析結果に基づき、護岸や河岸の被災プロセスについて検討した。



図-1 遠賀川流域と彦山川および被災箇所の概要

2. 彦山川と平成24年7月豪雨時の被災状況の概要

彦山川は、英彦山を源流とし、直方市で遠賀川に合流する全長36kmの遠賀川の支川である。図-1に遠賀川流域の航空写真と水位観測所および彦山川を、図-2に遠賀川流域の雨量観測所を示す。九州北部豪雨災害時には、遠賀川上流域を中心に強い雨が降り、7月14日の午前6時には英彦山雨量観測所で1時間雨量81mmを観測している。図-2は、遠賀川流域の代表的な出水である平成15年と平成24年7月13～14日豪雨の6時間雨量分布図を示したものである。平成15年と平成24年豪雨は、いずれも短時間集中豪雨であったが、図-2に示すように、平成15年豪雨は中流域中心の豪雨、平成24年豪雨は遠賀川・彦山川上流部中心の豪雨であった点に違いがある。このように、今回の豪雨は、①短時間集中豪雨、②遠賀川・彦山川上流部中心の豪雨の2点が特徴である。

この豪雨により、7月13～14日には日の出橋、川島、伊田、春日橋、秋松橋水位観測所の計5観測所で氾濫危険水位を超え、日の出橋、勘六橋、大隈、中島、赤池、添田、春日橋水位観測所の計7観測所で観測史上最大の水位を記録した。図-1は、遠賀川流域について、7月3日および7月13～14日の出水での河川管理施設の被災箇所の概要を示したものである。特に、彦山川では距離標24kmより上流の区間で護岸の崩落が生じた。図-1中の②、③、⑤～⑦は彦山川で護岸被災した箇所、④は河岸が侵食された箇所である。7月3日の豪雨では②と⑥が、7月13～14日の豪雨では他の区間が被災した。なお、被災箇所⑥は1.5m程度の護岸崩落であり、特徴を捉えることは難しいと判断し、検討対象区間として除外した。

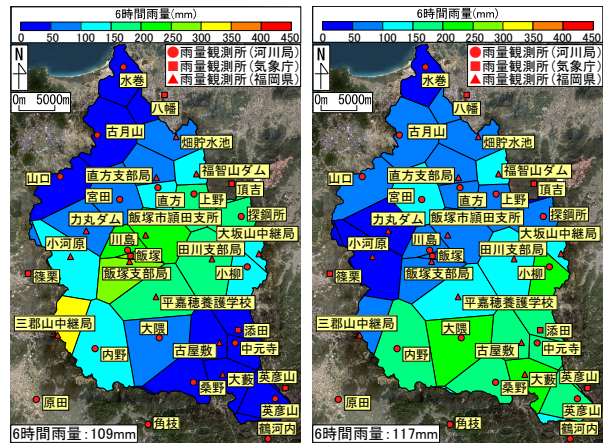


図-2 雨量観測所と6時間雨量コンター図
(左:平成15年, 右:平成24年)

3. 解析の概要

(1) 分布型流出・平面2次元洪水追跡モデルの概要

数値解析には、「分布型流出・平面2次元洪水追跡モデル」¹⁰⁾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次元自由表面流モデルで構成され、降雨を与条件として、河川への流出流量を算定し、この流量と下流端の水位を境界条件として、本支川の洪水追跡を一体的に行うモデルである。

セル分布型流出解析モデルは、斜面流と河道流の洪水追跡をkinematic wave法で行うモデルである。単位幅流量 q には飽和流、不飽和流、表面流を区別できる斜面表層の流量流積関係式¹¹⁾を用いた。なお、河道流の追跡は、平面2次元洪水追跡で対象としない河道についてのみ実施する。

平面2次元洪水追跡モデルは、複数の河川での洪水追跡をDynamic wave法で行うモデルである。同モデルには、有限体積法、流束差分法(FDS法)、領域分割法による並列計算などのCFD技術に基づく、PSA-FUF-2DFモデル(A Parallelized Spatial Averaged Finite volume method on Unstructured grid using FDS technique for 2D Free-surface flows)¹⁰⁾を用いた。

「分布型流出・平面2次元洪水追跡モデル」のモデルパラメータは、流域の土地利用(森林、荒地、田、農地、都市)に応じた等価粗度 N と、飽和透水係数の比 β 、土層中の大空隙部の飽和透水係数 k_a 、マトリックス部の最大保水量を水深で表した層厚 d_c 、重力水を含めて表層土中の最大保水量を水深で表した層厚 d_s 、河道の粗度係数 n である。なお、 β 、 k_a 、 d_c 、 d_s は土地利用が森林の場合についてのみ考慮した。

(2) 解析条件

流出解析および平面2次元洪水追跡の解析開始時刻については、7月3日豪雨では、それぞれ平成24年7月3日PM0時、7月3日AM2時とし、7月13～14日豪雨では、それぞれ平成24年7月13日AM6時、7月13日AM10時とした。

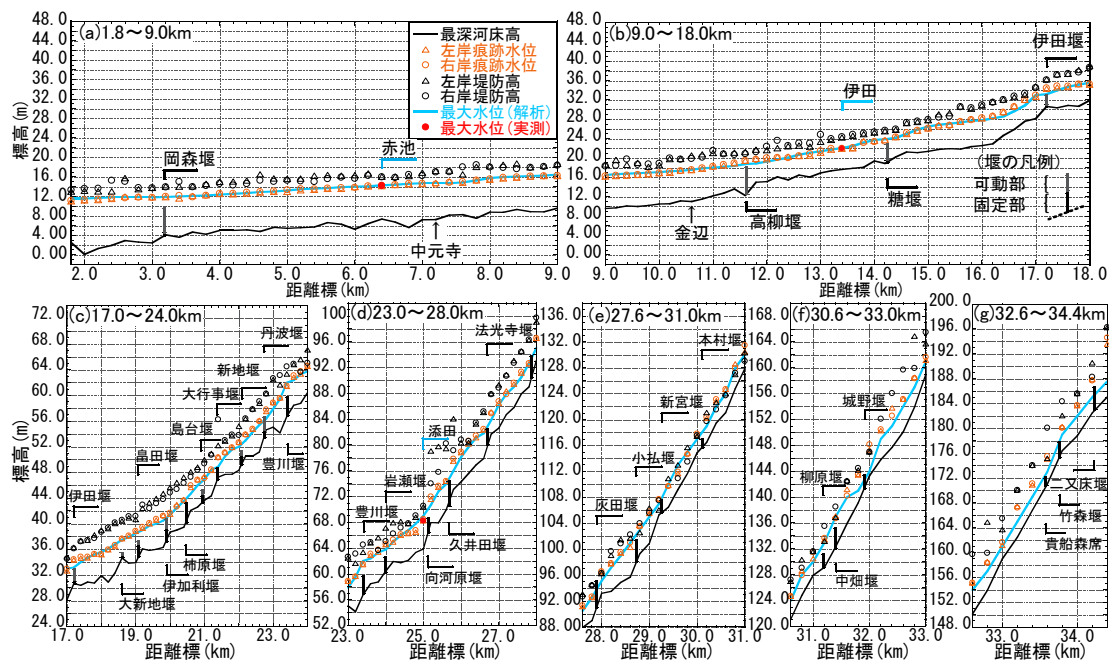
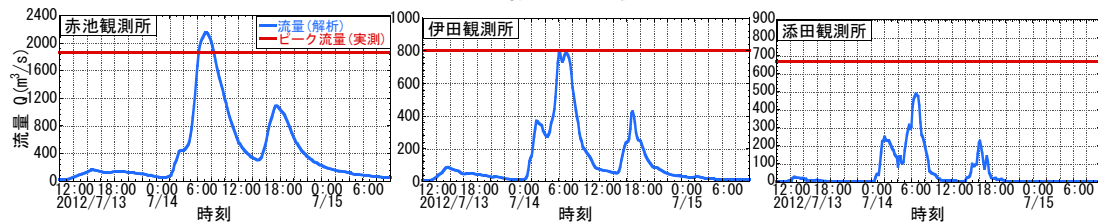
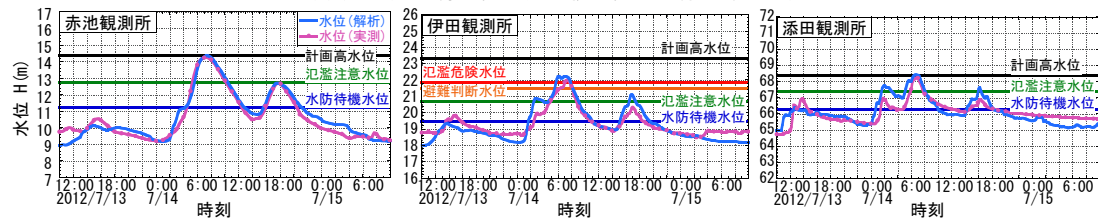


図-3 痕跡水位と解析水位の最大値との比較



(a) 流量(左: 赤池, 中央: 伊田, 右: 添田観測所)



(b) 水位(左: 赤池, 中央: 伊田, 右: 添田観測所)

図-4 赤池, 伊田, 添田での実測値と解析結果との比較

表-1 分布型流出解析のモデルパラメータ

	$N (m^{-1/3} \cdot s)$	β	$k_s (m/s)$	$d_c (m)$	$d_s (m)$
森林	0.63	5.09	0.02	0.13	0.13
田	0.30				
農地	2.53				
都市	0.29				
荒地	0.06				
水域	0.04				

分布型流出解析は、図-1に示す遠賀川流域全体で行った。流出解析のモデルパラメータについては、表-1に示すように土地利用に応じて値を設定した。平面2次元洪水追跡では、彦山川の中島水位観測所から上流側を解析対象区間とし、河道14区間に分割した。河道横断面図は平成20年のものを用いた。総メッシュ数は18,163個であった。粗度係数には計画粗度係数(0.023-0.038(m^{-1/3}s))を与えた。下流端の境界条件には、中島観測所の実測水位を与えた。

(3) モデルの検証

図-3は、痕跡水位と解析水位の最大値との比較を、図-4は彦山川沿いの赤池、伊田、添田水位観測所について、

実測水位と解析結果との比較およびピーク流量と流量ハイドログラフの解析結果との比較を行ったものである。これらより、本解析結果は、堰直近や比較的小さい時間帯で若干の誤差が生じているものの、痕跡水位、水位ハイドログラフの波形、添田観測所を除くピーク流量を十分な精度で再現していることがわかる。

4. 河道の経年変化・被災箇所での現地調査および数値解析結果に基づく流況の把握

(1) 河道の経年変化

図-5は、彦山川の距離標24kmより上流側について、各年度の平均河床および最深河床の差、低水路幅、最深河床位置の経年変化を示したものである。なお、この区間は護岸の崩落が集中している。各諸量は、昭和62、平成2、平成14、平成20、平成23年の定期横断測量結果から求めた。各区間の河床勾配、河床材料は表-2に示す通りである。これらから、被災箇所②では(1)平均河床はほ

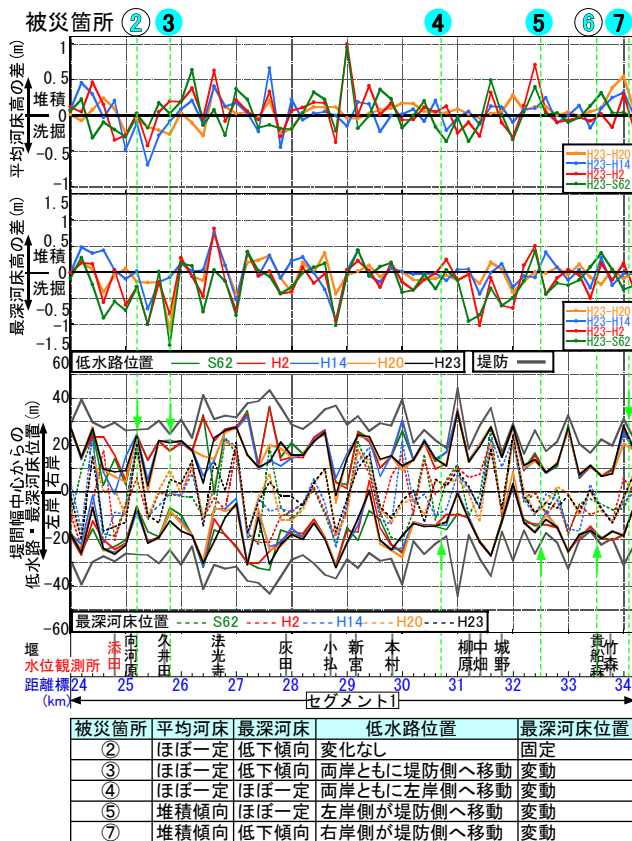


図-5 各諸量の平均・最深河床の差、低水路・最深河床位置の経年変化

ば一定、最深河床は低下傾向にあること、(2)低水路位置には変化がなく、最深河床位置は固定されていること、被災箇所③では(1)平均河床はほぼ一定、最深河床は低下傾向にあること、(2)低水路位置は両岸ともに堤防側へ移動しており、最深河床位置は変動していること、被災箇所④では(1)平均河床、最深河床のいずれもほぼ一定であること、(2)低水路位置は両岸ともに左岸側へ変動しており、被災箇所周辺では最深河床位置も変動していること、被災箇所⑤では(1)平均河床は上昇傾向、最深河床はほぼ一定であること、(2)低水路位置は左岸側が堤防側へ移動していること、被災箇所周辺では最深河床位置も変動していること、被災箇所⑦では(1)平均河床は上昇傾向、最深河床は低下傾向にあること、(2)低水路位置は右岸側が堤防側へ移動しており、被災箇所周辺では最深河床位置は変動していること、などが確認できる。

これらをまとめると図-5中の表となり、被災箇所の多くは、堤防側へ低水路位置が移動し、最深河床位置は変動していることがわかる。最深河床位置が変動している区間では砂州が形成されていることが航空写真より確認された。また、低水路線形から、いずれの被災箇所も水衝部に位置することもわかる。

(2) 現地調査結果

図-6は、被災箇所②と⑦の現地調査結果をまとめたものである。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。現地調査結果から、(1)護岸は、空石積護岸

表-2 河床勾配と河床材料

距離表	代表粒径 (m)	河床勾配
24.0-25.0	0.086	1/200
25.0-28.6	0.086	1/100
28.6-34.2	0.118	1/70



図-6 ②と⑦の被災状況

で裏込材には大きな玉石が混在していたこと、直高5m以上の5分勾配で、かつ老朽化していたこと、(2)河床勾配は1/120程度で、左岸側に砂州が形成され、護岸崩落箇所は水衝部であったこと、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、護岸崩落と家屋流出が生じた。現地調査結果から、(1)護岸は、直高5m以上の5分勾配で、植生が繁茂し、弱体化していたこと、(2)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水衝部となること、などが確認された。

(3) 数値解析に基づく流れの把握

図-7は、数値解析結果に基づき求めた最大流速、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²⁾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と摩擦速度の時間積分値⁹⁾も併せて示している。これらから、(1)被災箇所②~⑤及び⑦のいずれも、その周辺の流速は大きく水衝部であること、(2)その最大流速、摩擦速度は、7月3日の被災箇所②ではそれぞれ3.5m/s程度、0.35m/s程度、7月13~14日の被災箇所③~⑤及び⑦ではそれぞれ5.0m/s程度、0.50m/s程度であること、(3)被災区間の流速や摩擦速度の時間積分値は、被災が生じていない区間に比べ大きく、流速や摩擦速度の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-8は、先述の河道の経年変化の結果に基づき求めた安定河道の無次元掃流力 τ_{*s} と各距離表での最大無次元掃流力 τ_{*s} の解析結果との比較を行ったものである。なお、

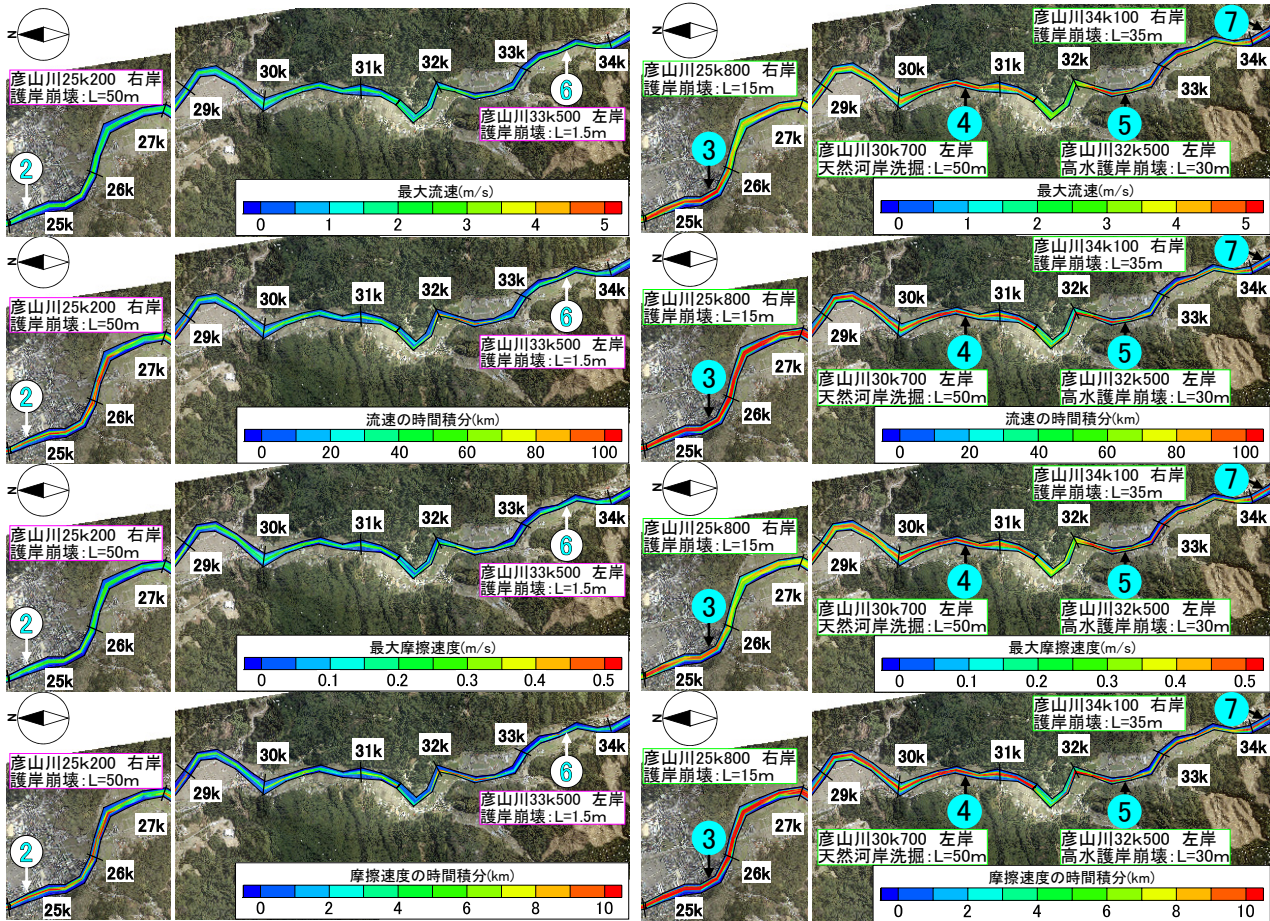


図-7 最大流速、流速の時間積分値、最大摩擦速度、摩擦速度の時間積分値のカウンター(左:7月3日豪雨,右:7月13~14日豪雨)

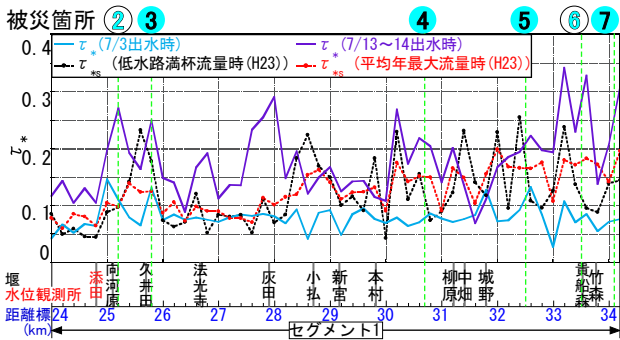


図-8 安定河道の無次元掃流力 τ_s と各距離標の最大無次元掃流力 τ_* の比較

安定河道の無次元掃流力 τ_s の算定には、参考文献¹²⁾に提案される式(1)を用いた。

$$\tau_{*s} = \alpha^{1/2} (s/I)^{-1} \left(\varphi^{-1} Q / \sqrt{g I d_R^5} \right)^{1/3} \quad (1)$$

$$\alpha = (h/d_R)(B/d_R)^{-2/3}$$

$$\varphi = \left(Q / \sqrt{g I d_R^5} \right) / \left\{ (h/d_R)(B/d_R)^{3/2} \right\}$$

ここに、 φ =流速係数、 s =比重、 I =河床勾配、 Q =流量、 g =重力加速度、 d_R =60%粒径、 h =水深、 B =低水路幅である。算定に必要な流量は、低水路満杯流量および平均年最大流量を用いた。低水路満杯流量については不等流解析より得られた水位流量曲線より求めた。これより、(1)低水路満杯流量に基づく安定河道の無次元掃流力は、平均年最大流量に基づく安定河道の無次元掃流力に比べ

らつきが大きいこと、(2)平均年最大流量に基づく安定河道の無次元掃流力は、低水路満杯流量に基づくものの平均的な値となること、(3)被災箇所②~⑤及び⑦周辺での最大無次元掃流力 τ_* は、いずれも安定河道の無次元掃流力 τ_s を超えていること、(4)特に、7月3日の豪雨では被災区間②の周辺でのみ、最大無次元掃流力 τ_* が、安定河道の無次元掃流力 τ_s を超えていること、などが確認できる。

5. 被災プロセスの検討

以下では、被災箇所の被災プロセスを検討する。上記の河道の経年変化、現地調査結果、数値解析結果による流れの把握に基づけば、各被災箇所の被災プロセスは次のようであったと推察される。

(1) 被災箇所②

(1)護岸崩落箇所の最深河床位置は固定化しており、最深河床は低下傾向にあった(図-5)。(2)護岸崩落箇所は水衝部であった(図-6)。(3)この区間では3m/sを超える大きな流速と0.3m/sを超える摩擦速度が長時間発生した(図-7)。(4)無次元掃流力は低水路満杯および平均年最大流量から求めた安定河道の無次元掃流力の1.1倍程度であった(図-8)。(5)このため、護岸と周辺の河床は大きな外力を長時間受けた。(6)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(図-6)、その形状を維持できず崩落した。

(2) 被災箇所⑦

(1)護岸崩落箇所の最深河床位置は変動しており、河床は低下傾向にあった(図-5)。(2)護岸崩落箇所は水衝部であった(図-6)。(3)この区間では5m/s程度の大きな流速、0.5m/s程度の大きな摩擦速度が長時間発生した(図-7)。(4)無次元掃流力は安定河道の無次元掃流力の1.5倍程度であった(図-8)。(5)このため、護岸および河床が大きな外力を長時間受けた。(6)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(図-6)、その形状を維持できず崩落した。

(3) 被災箇所③, ④, ⑤

いずれも(1)低水路位置は被災箇所へ移動しており、また最深河床位置も変動していることから(図-5)、河道自体が変動する傾向にある区間であった。(2)被災箇所は水衝部であった(図-5)。(3)被災区間では5m/s程度の大きな流速、0.5m/s程度の大きな摩擦速度が長時間発生した(図-7)。(4)無次元掃流力は安定河道の掃流力の1.1~1.4倍程度であった(図-8)。(5)このため、護岸・河岸および河床が大きな外力を長時間受け、崩落あるいは侵食が生じた。

(4) 被災箇所の共通点の抽出

被災箇所②と⑦では、(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、(D)安定河道の無次元掃流力より掃流力が上回っていることが、被災箇所③~⑤については(B)、(C)、(D)が共通していた。一方で、距離標28.2kmでは、(B)、(C)、(D)が共通していても、被災が生じていなかった。このような違いが生じた要因を明らかにすることで、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、護岸や河岸の被災危険性を評価する指標を検討できると考えられる。

6. おわりに

本研究では、平成24年九州豪雨災害時の遠賀川の1次支川である彦山川について、河道の経年変化、現地調査および数値解析に基づき、本出水での護岸・河岸の被災状況の把握と被災プロセスを検討した。その結果、次のことが確認された。

- (1) 本災害で被災した護岸や河岸の被災プロセス
- (2) 本災害で被災した箇所は、”5. 被災プロセスの検討 (4) 被災箇所の共通点”で示した(A)~(D)あるいは(B)~(D)が共通していたこと。

以上を踏まえると、①最大流速と摩擦速度およびその時間積分値が高く、②無次元掃流力が安定河道のものより大きな区間は、護岸の被災や河岸侵食が生じる危険性

があり治水上注意を要する区間であると考えられる。今後は、被災が生じた区間とそうでない区間との差異の要因を検討し、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と考えている。

謝辞：本研究は、科学研究費補助金若手研究B(課題番号：25820225、研究代表者：重枝未玲)の助成を受け実施したものである。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現地調査の実施やデータの提供など多大な協力を得た。本学学部4年生の川上優さん、道岡大地君、阿部琢哉君、永井瑞紀さんには、データ整理等で協力を得た。ここに記して感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 国土交通省：河川砂防技術基準維持管理編，http://www.mlit.go.jp/river/shishin_guideline/gijutsu/gijutsukijunn/jikanri/kasen/pdf/gijutsukijun.pdf, 2011.
- 2) 藤田光一，田上敏博，天野邦彦，服部 敦，浦山洋一，大沼克弘，武内慶了：現場での実践を通して河道管理技術を向上させる先駆的取り組み，河川技術論文集，第17巻，pp.539-544，2011.
- 3) 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，2013.
- 4) 国土交通省：地球温暖化に伴う気候変動について，大規模水害対策に関する専門調査会，2007.
- 5) 小林健一郎，寶 馨，中北英一：全球気候モデル出力を用いた日本域の100年確率日降水量の将来予測，水工学論文集，第54巻，pp.223-228，2010.
- 6) 国土交通省九州地方整備局遠賀川河川事務所：梅雨前線に伴う平成24年7月14日出水について(速報)(遠賀川水系)，http://www.qsr.mlit.go.jp/onga/shintyaku/images/h24_07.25syussui.pdf, 2012.
- 7) 国土技術研究センター：護岸の力学設計法，山海堂，1999.
- 8) 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.
- 9) 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.
- 10) 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.
- 11) 立川康人，永谷 言，寶 馨：飽和・不飽和流れの機構を導入した流量流積関係式の開発，水工学論文集，第48巻，pp.7-12，2004.
- 12) 秋山壽一郎，重枝未玲，和田浩輔：砂礫河川の平均スケールと動的平衡条件，土木学会論文集B1(水工学)Vol.70, No.4, I_1051-I_1056, 2014.

(2014. 9. 30受付)