CHARACTERISTICS OF FLOOD FLOW WITH RIVERBED DEFORMATION IN THE OMOTO RIVER IN 2016 FLOOD DISASTER

原田 大輔¹・江頭 進治¹・萬矢 敦啓²・岩見 洋一³ Daisuke HARADA, Shinji EGASHIRA, Atsuhiko YOROZUYA and Youichi IWAMI

 ¹正会員 工博 国立研究開発法人土木研究所 水災害・リスクマネジメント国際センター(ICHARM) (〒305-8516 茨城県つくば市南原1-6)
²正会員 Ph.D 国立研究開発法人土木研究所 水工研究グループ水文チーム (〒305-8516 茨城県つくば市南原1-6)
³正会員 工修 長崎県土木部長 (〒850-8570 長崎県長崎市江戸町2-13)
(前 国立研究開発法人土木研究所 水災害・リスクマネジメント国際センター(ICHARM))

In August 2016, heavy rainfall due to Typhoon No.10 caused violent flood damages along the Omoto river. The Omoto river flows through a valley plain, which is composed of a meandering stream channel with sand bars. This study aims to investigate the characteristics of flood flow for obtaining the data on effective river management in mountainous areas based on the results of 2-D numerical model simulations with various sediment supply conditions. The flood flows are compared with various sediment supply conditions in the Otomo-area and Akashika-areas, where severe damages are observed. According to the results of numerical simulations, it is revealed that the water level over the sand bars is obviously affected by the sediment supplies from upstream. Therefore, it is implied that the river planning in the valley plains such as the Omoto river should be based on appropriate estimation of sediment supply from the mountains.

Key Words: Mountain rivers, Flood flow, Riverbed deformation, Numerical flow simulation

1. はじめに

岩手県岩泉町を流れる小本川は、谷底低地を蛇行しな がら流れ、蛇行内岸に形成された砂州と流路から構成さ れている.2016年の台風10号による出水では、洪水流は 流路の通水能力を大きく超えて谷底全体を流れ、大きな 被害をもたらした.図-1は被災後に国土地理院¹⁾が撮影 した空中写真であり、小本川本川の河口から8~17kmの 範囲を示しているが、これより洪水流が谷底低地全体を 流下し、様々な施設や農地を荒廃させた様子が見て取れ る.出水後には複数の研究機関が調査を実施し^{2),3),4}, 災害の実態が徐々に明らかになってきている.

著者らは中山間地河川の河道設計に関する情報を蓄積 することを目的として、小本川における流路・河床変動 と洪水流の実態について調査を行った²⁰.上流の山間部 では土石流が至る所で発生しており、土石流によって輸 送された土砂は直ちに下流の河川に流入して流路・河床 変動を引き起こし、洪水流の変化に影響を及ぼしている と推察された.また,小本川本川沿いの砂州上には土砂 の堆積に加え,無数の流木の堆積が見られ,洪水流に対 するこれらによる影響も相当程度生じたと考えられる. 土砂や流木の生産源が近い中山間地河川では,河道設計 を行うにあたり,土砂流入や流木の対策に関して,砂防 堰堤の設置等の個々の対策技術はあっても,これらが谷 底低地全体を流下するような洪水流に対して及ぼす影響 について,より詳細に検討する必要がある.

本研究においては、現地で重点的に調査した図-1中の 乙茂地区及び赤鹿地区という2つの地区において、ま ず、流路・河床変動を伴う洪水流の解析を実施し、本災 害の洪水流の特性を明らかにする.次に、多量の土砂や 流木の流入を想定した解析を行い、小本川のような中山 間地域河川の河道計画を行う上での留意点を抽出する.

2. 小本川本川の洪水流の実態

(1) 解析の条件



図-1 被災後の空中写真(10月7日撮影)¹⁾ に解析対象とした区間を加筆したもの



写真-1 赤鹿観測所付近の河床材料



図-3 赤鹿観測所付近の土砂粒度分布(写真-1の画像解析 により求めたもの)及び解析で与えた粒度分布

乙茂・赤鹿の両地区で,既存のモデル^{5),6),7)}を用いて 平面二次元洪水流解析及び河床変動解析を実施した.乙 茂地区には9人の犠牲者を出した高齢者福祉施設が位置 している.赤鹿地区は右岸側の堤防が破堤して大量の流 水と土砂が農地に流入し,農地や民家を荒廃させた.

解析に際しては、まず地形データとして、出水前の航空レーザー測量に基づく国土地理院基盤地図情報5m メッシュ数値標高モデル(DEM)⁸⁰を用いた.ただし航空レーザー測量では水面下の地形情報が取得されていないため、周囲の地点のデータからこれを補完している.

解析に用いる流量については、赤鹿観測所で計測され



図-2 赤鹿地点で観測された水位ハイドログラフを等流計 算により流量値に換算したもの

た水位ハイドログラフを基に、これを流量ハイドログラフに変換した.具体的には、DEMデータによって作成した赤鹿観測所の横断面おいて低水路の粗度係数を0.031(後述する),高水敷を0.06と設定して、一般断面等流計算を水位ハイドログラフの各時間に対して行い、 図-2に示す流量ハイドログラフを得た.これを乙茂・赤鹿の両地区において解析区間の上流端境界条件として与え、8月30日の18時以降7時間分の解析を実施した.また、下流端の水位境界条件としては等流計算により算出した水位を与えた.

河床変動解析に用いる河床材料の粒度分布については, 赤鹿観測所付近で撮影した河床材料(写真-1参照)の画 像解析を行い,図-3に示す粒径加積曲線を得た.これを 乙茂・赤鹿の両地区の初期河床材料として与えた.なお, 両地区は数km離れているものの,河床材料の粒径には 顕著に違いがないことを現地で確認している.

粗度係数として,低水路についてはマニング・ストリ クラーの式(1)により算出した.

$$n = 0.0417 k_s^{1/6} \tag{1}$$

ただし、 $n: マニングの粗度係数, k_s: 相当粗度で, k_s = 2d_{84}$ として、図-3により $d_{84} = 80$ mmとした. また、低水路以外の粗度係数は一律で0.06とした. 出水後の航空写真(図-1参照)において樹木群が残存している箇所については、これを考慮して流れを計算している.



図-4 乙茂地区のピーク流量時の流況



図-6 乙茂地区の移動床と固定床の縦断水位及び 澪筋河床高,痕跡水位³の比較(ピーク時)

この際樹木密生度として、赤鹿観測所の付近でいくつかの樹木群の樹木間隔を調査し、これらの平均的な樹木密 生度(単位面積に占める植生面積率)を0.007と算出して、これを樹木抵抗として計算条件として与えた。

なお、河床変動解析においては、掃流砂量式として芦田・道上式[®]を用い、浮遊砂量式としてLane-Kalinskeの式[®]を用い、解析区間上流端から平衡流砂量を給砂した.

(2) 乙茂地区の解析結果とその考察

図-4は、乙茂地区におけるピーク流量時の固定床条件 と移動床条件下での洪水流である.図-5は、河床変動計 算結果であり、ピーク流量時と通水終了時のコンター図 である.解析区間上流側の湾曲部においては、内岸側に 比較的強い流れが作用している.図-5下段の通水終了時 のコンター図によると、この内岸側の強い流れによって 大きく河床が侵食されている.ただし被災後の航空写真



植生が残っている 橋の一部が流失(写真では復旧済)

図-5 乙茂地区の河床変動計算結果

と比較すると、植生が残存している事からも、1mを超 える河床低下がここで生じたとは考えにくい、一方で福 祉施設が位置する開発された砂州上では堆積傾向となっ ているが、この点は航空写真とよく対応している.

なお、図-6には澪筋部分についてピーク流量時の河床 高と縦断水位の解析結果について示している.固定床と 移動床の解析結果は部分的に0.5m程度異なっているが、 全体的には顕著な差異は見られない.

(3) 赤鹿地区の解析結果とその考察

赤鹿地区の河床変動計算の結果を図-7に示す.これに よれば、右岸側堤防の越流に伴って堤防が侵食され、侵 食土砂は徐々に右岸側の農地部に流入して河床上昇を引 き起こしている.ただし、被災後の航空写真と比較する と、解析結果における右岸側の農地部に堆積した土砂の 量は少ない.また、計算では堆積した土砂量と比較して 侵食された土砂量が非常に多いように見られ、上流から の土砂供給条件が適切に評価できていない可能性がある.

図-8には澪筋部分についてピーク流量時の河床高と縦 断水位の解析結果について示している.固定床と移動床 の解析結果は部分的に0.5~1.0m程度異なっているが, 全体的には顕著な差異は見られない.なお,赤鹿橋の上 流側の湾曲部においては乙茂地区と同様に内岸側の砂州 に強い流れが作用しているために,この砂州が大きく侵 食されているが,図-7から分かるように,一部で侵食量 が過大に評価されている.



図-7 赤鹿地区の河床変動計算結果

3. 様々な土砂供給条件による河床変動の検討

(1) 解析の条件

上流端から平衡流砂量を給砂した河床変動計算では, 乙茂地区上流の湾曲部内岸砂州が過大に侵食されたり, 赤鹿地区の砂州部への土砂堆積が過少評価されるなど, いくつかの課題が挙げられた.その原因については,土 砂供給条件が適切に評価できていない,もしくは流木の 堆積による河積阻害が表現できていない,等が考えられ る.そもそも出水中は,出水後に河床に堆積している土 砂(写真-1参照)よりも多くの細粒土砂が供給され,輸 送されているはずである.また,相当の流木が橋梁に捕 捉されており,河積阻害による洪水流の変化を引き起こ したと推察される.将来の河道設計のためには,支流の 沢で発生した土石流が本川に流入して洪水流に大きく影 響することも考慮しておく必要がある.ここでは,これ らの現象が仮に生じた場合に,洪水流にどのような影響 が及ぼされるかについて検討する.



図-8 赤鹿地区の移動床と固定床の縦断水位及び 澪筋河床高,痕跡水位³⁾の比較(ピーク時)



図-9 赤鹿地区のCasel 河床変動コンター図

計算は次の5ケースについて行った. Case 1: 土石流を 構成する材料のうち微細成分は洪水流出とともに流出す ることを考慮し,2014年広島土石流災害における粒度分 布調査¹¹⁾を参考にして供給土砂の粒度分布を図-3のCase 1のように設定し,上流端で平衡流砂量を与えて供給土 砂の粒度分布の影響を見る. Case 2: 上流端にてCase1の 2倍の流砂量を設定し,供給土砂の急激な増加の影響を 見る. Case 3: 固定床洪水流に対し、橋梁での流木捕捉 に伴う河積阻害の影響を見る. Case 4: 移動床洪水流に 対する河積阻害の影響をみる. Case 5:計算区間に土石 流が流入し,河床が急激に上昇した場合の影響を見る.

(2) 上流端から細粒土砂を投入した場合(Case1, Case2)

図-9には、赤鹿地区のCaselの通水終了後の河床変動 コンター図を示している.図-7の下段と比較すると、右 岸側の農地にやや多く土砂が堆積しているものの、左岸 側砂州の侵食等、全体的な傾向は変わらない.また、図 -10にはCaselとCase2のピーク流量時水位縦断図を移動 床条件(図-6参照)と比較したものを示すが、最大で 50cm程度の差異が見られる.

(3) 流木による河積阻害を想定したケース

橋梁部分の一部を非計算格子に設定することによって、



図-10 赤鹿地区のCase1及びCase2の澪筋水位/河床縦断図 (横軸の距離は図-8に対応)



図-11 赤鹿地区のCase4 河床変動コンター図

橋梁部で河積阻害が生じた際の流路・河床変動を伴う洪水流について検討した.具体的には、乙茂地区の2つの橋と赤鹿地区の赤鹿橋(それぞれ長さ100m~150m程度)において、左右岸の30mずつを図-11のように非計算格子に設定し、Case3(固定床)とCase4(移動床、上流端からは平衡流砂量を給砂)の解析を行った。

図-11によれば、赤鹿地区のCase4では橋梁の上流側で 水位上昇が生じたことによって、より多くの流水と土砂 が右岸側の農地部に流入した.そのため右岸側の農地部 分の土砂堆積状況が概ね再現できている.また、橋梁の 左岸上流側において、図-7では侵食量が過大に評価され ていた箇所における侵食が抑制されている.

図-12は乙茂地区のCase4の河床変動コンター図である. 図-13に示す水位及び河床の縦断図と併せて考察すると, 橋梁付近の上流側で河積阻害による水位上昇が起きてい るために,図-5に見られる内岸側砂州の過度な侵食が抑 制されている.また,図-12には出水の二日後,9月1日 の空中写真を併記したが,橋の一部(左岸側)が流失し, 橋の下流には大きな水たまりが形成されていて,また左 岸側の樹木の付近には大量の流木が集積している.これ らの状況から,本解析結果のように左岸側の橋梁に流木 が捕捉されて強い外力が橋梁に作用したことにより橋梁 が流失し,また橋脚付近の洗堀や澪筋への流水の集中に







図-13 赤鹿地区のCase3及びCase4 ピーク流量時の水位及び河床縦断図



図-14 福祉施設が位置する地点のCase3及びCase4 について解析水位の時間変化

よって橋の下流が大きく侵食されたと考えられる.

なお、図-13においてCase3とCase4との水位を比較す ると、移動床条件であるCase4のほうが解析水位が低い が、これは橋梁の付近での強い流れによる河床低下に よって水位の上昇が比較的抑制されるためである.ここ で、福祉施設が位置する地点の解析水位の時間変化を図 -14に示す.これによると、Case3とCase4とでは上流端 境界条件として与えたピーク流量の時間に対して遅れて



河床を高くした部分

図-15 乙茂地区のCase5 河床変動コンター図

水位のピークが生じており、流量が小さいほど堰上げの 効果が顕著に表れていると考えられる.

(4) 斜面崩壊による土砂流入を想定したケース

Case5では、土石流や斜面崩壊によって支流の沢から 30,000m³の土砂が供給された場合を想定した。土石流は 実際には様々な形状で堆積するが、ここでは仮想的に図 -15のように通水開始前に支川流入部付近において河床 高を3m高くして、30,000m³の土砂を直方体状に積み、解 析を行った。乙茂地区の解析結果について図-15及び図-16に示す。ピーク流量時においては図-16に示すように 上流側での水位上昇が顕著に見られた。また、澪筋部分 の河床変動量は図-5と比較して大きくないが、福祉施設 が位置する砂州上では顕著に土砂堆積が生じている。

4. 結論

2016年度台風10号により被災した小本川の乙茂・赤鹿 両地区において,流路・河床変動を伴う洪水流解析を実 施した.得られた成果及び今後の課題は以下の通りある.

河床変動解析の結果,一部の領域において侵食量を過 大に評価し,また堆積量を過少に評価していた.

細粒土砂を供給した検討を行った結果,部分的に顕著 な違いが見られたが,技術的には今後の検討課題である.

また、流木による河積阻害、土石流による土砂流入を 想定したケースでは、上流側での1mを超える水位上昇、 水位ピークの遅れといった現象が見られた.特に流木の 流入を想定した場合、河床変動計算の結果がより実際と 近くなったことからも、これらの対策は中山間地河川の 河道計画上の極めて重要な検討課題である.なお、本研 究は下流域について解析を行ったが、上流域の山間地河 川では勾配急変点において土砂堆積が生じたことで多く の被害が生じており、この点についても今後検討したい.







からは貴重なデータを提供していただいた.また,東京 理科大学水理研究室からは痕跡水位データを提供してい ただいた.ここに記して謝意を表する.

参考文献

- 1) 国土地理院:平成28年台風第10号に関する情報, http://www.gsi.go.jp/BOUSAI/H28.taihuu10gou.html
- 2) 江頭進治・小関博司・山崎祐介・南雲直子・原田大輔・萬矢 敦啓・工藤俊:平成28年8月台風10号豪雨による岩手県 小本川洪水災害調査報告、土木研究所資料第4348号、国立研 究開発法人土木研究所(PWRI), 2016年11月.
- 3) 守屋博貴・二瓶泰雄・水野力斗・神垣崇郎・片岡智哉: 岩手 県岩泉町乙茂地区における2016年台風10号の洪水氾濫状況, 土木学会論文集B1(水工学) Vol.73, No.4, I_1411-I_1416, 2017.
- 4) 風間聡・峠嘉哉・高橋範仁:平成28年台風第10号による二級 河川小本川での洪水発生状況の考察,土木学会論文集B1(水 工学) Vol.73, No.4, I_1303-I_1308, 2017.
- 5) 竹林洋史, 江頭進治, 岡部健士, 寺岡充夫: "給水・給砂の 非定常性と植生の繁茂を考慮した砂州及び流路の形成水理条 件", 土木学会水工学論文集, 第50巻, pp.973-978, 2006.
- Biswas, Robin K., A. Yorozuya, and S. Egashira. "Numerical Model for Bank Erosion in the Brahmaputra River", Journal of Disaster Research, Vol.11, No.6, 2016.
- 7) iRICソフトウェア:http://i-ric.org/ja/
- 8) 国土地理院,:基盤地図情報,http://www.gsi.go.jp/kiban/
- 9) 芦田和男,道上正規:移動床流れの抵抗と掃流砂量に関する 基礎的研究,土木学会論文報告集,第206号,pp.59-69, 1972.
- Lane, E. W. and Kalinske, A. A. Engineering calculation of suspended sediment, Trans. A.G.U., Vol. 22, 1941.
- 11) 江頭進治・萬矢敦啓・エスカーナロシレット・山崎祐介・ 工藤俊:土石流形成における微細砂の役割,砂防学会研究発 表会概要集, B.72-73, 2016.

(2017.4.3受付)