

令和元年台風19号による利根川上流域の 洪水外力の推定と治水課題の考察

ESTIMATION OF FLOOD EXTERNAL FORCE BY TYPHOON HAGIBIS
AND FLOOD CONTROL ISSUES IN THE UPPER TONE RIVER BASIN

阿部紫織¹・清水義彦²・浅沼順³・佐山敬洋⁴

Shiori ABE, Yoshihiko SHIMIZU, Jun ASANUMA and Takahiro SAYAMA

¹正会員 三井共同建設コンサルタント株式会社 河川・砂防事業部 水文・水理解析部
(〒141-0032 東京都品川区大崎一丁目11番1号)

²正会員 群馬大学大学院 教授 理工学府環境創生部門
(〒376-8515 群馬県桐生市天神町1-5-1)

³正会員 筑波大学大学院 教授 生命環境科学研究科
(〒305-8577 茨城県つくば市天王台1丁目1-1)

⁴正会員 京都大学防災研究所 准教授 社会防災研究部門政策研究分野
(〒611-0011 京都府宇治市五ヶ庄)

Typhoon Hagibis caused heavy rainfall, widespread flooding, and serious damage mainly in eastern Japan. This disaster caused 140 levee breaks in 71 rivers and led the way of flood control planning in Japan to face some tough situations. Although, the Tone River, Tama River, and Arakawa River did not cause major damage, they are considered to have a remarkable flood impacts with some sections exceeding the planned high water level. Thus, it is important to understand the characteristics of the flood flow in large rivers caused by Typhoon Hagibis. In this study, we focused on the estimation of the flood discharge in the Tone River by performing the RRI model simulation. The simulation result shows the peak discharge at Yattajima where is a flood control reference point in the Tone river is nearly same to the target flow discharge in the current river improvement plan. Furthermore, we extracted some lessons on the flood controlling in the Tone River from Typhoon Hagibis.

Key Words : Typhoon Hagibis, Tone River, flood discharge, dam, flood control, RRI model

1. はじめに

令和元年台風19号は、大型で強い勢力で10月12日に伊豆半島に上陸し、その後13日までの間に東日本を中心に広い範囲で記録的な豪雨をもたらした。この豪雨により、静岡、新潟、関東甲信、東北地方において71河川、140箇所の堤防決壊と越水・氾濫が生じ、今後の治水計画のあり方が問われつつある。

一方、今次出水で大きな被害に至らなかった利根川、多摩川、荒川本川についても計画高水位を超過する区間が一部で生じるなど、注視すべき洪水外力規模であったことが推測される。すなわち、台風19号による大規模出水から大河川の洪水流下特性を学ぶことは重要であり、その最も基本となるのが洪水流量規模の見積もりである。

そこで、本研究では利根川流域において今次洪水の再現計算を実施することにより、河道の洪水流量の推定を

実施する。特に、治水基準点八斗島における今次洪水の流量ハイドログラフを推定することで、利根川の治水計画に関する課題を考察することを目的とした。

2. モデルの概要

本研究において、洪水流量の推定には降雨流出氾濫モデル(RRIモデル)¹⁾を用いた。RRIモデルは、国立研究開発法人土木研究所ICHARMで開発された、山地・平地を問わず流域をグリッドセルに分割し、降雨流出から洪水氾濫まで流域スケールで一体的に解析することのできる分布型モデルである。RRIモデルでは、流域全体を二次元拡散波近似で解析を行うことで、低平地の降雨流出過程や氾濫原における浸水の状況を再現可能である。本研究での解析には、最新バージョンのVer.1.4.2.3²⁾に、近者ほか³⁾によって開発されたダムモジュールを組み込んだ

RRIモデルを用いた。

(1) RRIモデルの構築

本研究の対象流域は、群馬県を水源とし、埼玉県、茨城県、千葉県を流れる一級河川利根川とした。利根川の流域面積は16,840km²、幹川流路延長は322kmである。利根川は上流ダム群として7つのダムを有しており、加えて、今次洪水では試験湛水中であったハッ場ダムでも洪水貯留が実施された。

RRIモデルは、利根川流域全域を対象として構築した。計算負荷を考慮して空間解像度は28秒(約700m×850m)メッシュを採用し、総計算メッシュ数は26,169メッシュである。

地形情報のモデル化には山崎ら⁴⁾の日本域表面流向マップ⁵⁾を用いて、1秒メッシュから28秒メッシュにスケールアップした。土地利用データは国土数値情報土地利用細分メッシュを使用し、28秒メッシュ内において支配的な分類カテゴリから、水田・畑地・山地・都市・水域の5分類を設定した。河道モデルは地点上流の流域面積に応じたレジューム則から矩形河道としてモデル化した。ハッ場ダムは貯留量の推定を行うために簡易的にモデル化し、期間内の放流量を0m³/sとして設定した。実際の放流量は約4m³/sであった⁶⁾。水位・貯留量の関係は貯水池容量配分図⁷⁾より線形で作成し、記者発表資料⁸⁾より初期水位を518.8mとして設定した。ハッ場ダム以外のダムは、国土交通省水文水質データベースより収集した実績放流量を境界条件として入力した。構築したモデルの流域図を図-1に示す。

(2) RRIモデルパラメータの同定

構築したRRIモデルパラメータを同定するために、実洪水における河道流量の再現性について検証を行った。検証対象洪水は近年で最も大きな降雨であった平成27年関東・東北豪雨(2015年9月9日～9月11日)とし、計算期間は初期値による影響を極力小さくするため、助走計算期間を含めた2015年7月1日～10月1日とした。ここで、入力する降雨データには気象庁解析雨量を用いた。気象庁解析雨量はアメダスや国土交通省水文水質データベースの雨量観測値とは異なり、空間分布を持つため、雨量データに起因する誤差を極力排除し、より現実的な降雨を与えることが可能であると考えられる。本研究で対象とする八斗島水位観測所地点及びそれより上流にある利根川上流ダム群の流入量について検証を実施した。

計算結果の例として、八斗島水位観測所及び菌原ダムにおける観測値と計算値の流量ハイドログラフを図-2、図-3に示す。更に、各地点におけるNash-Sutcliffe係数(以下、Nash係数)を算出した。Nash係数は一般的に0.7以上でモデルの妥当性が高いとされている。検証対象におけるNash係数を表-1に示す。各地点の観測流量は水文水質データベースより入手したが、ダム地点における流入量

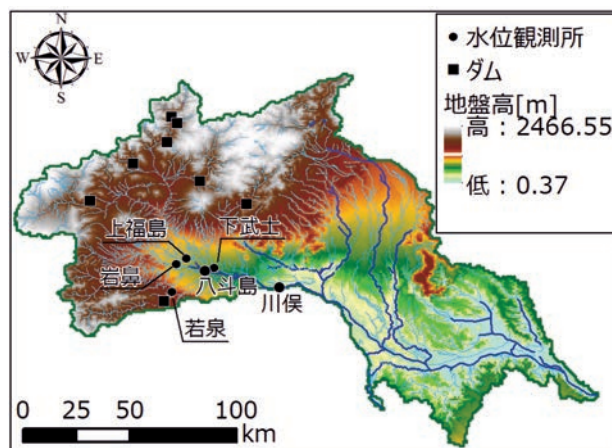


図-1 モデル構築対象流域図

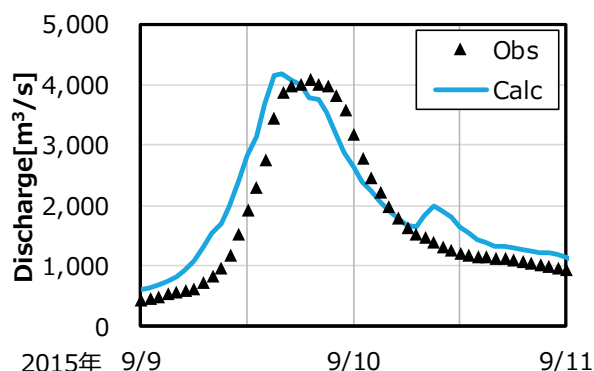


図-2 関東・東北豪雨の八斗島水位観測所流量ハイドログラフ

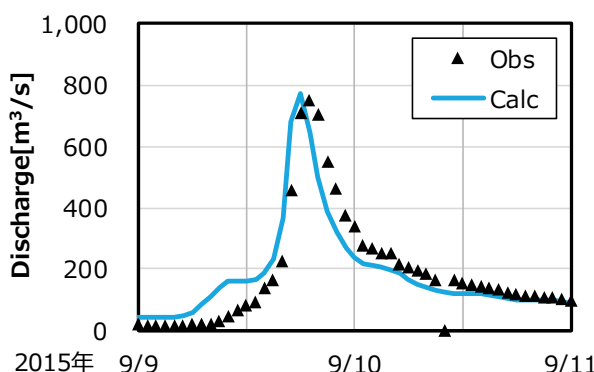


図-3 関東・東北豪雨の菌原ダム流入量ハイドログラフ

表-1 関東・東北豪雨のNash係数一覧

観測地点	Nash係数
八斗島	0.84
矢木沢ダム	0.79
奈良俣ダム	0.39
藤原ダム	0.21
相俣ダム	0.21
菌原ダム	0.82
草木ダム	0.90
下久保ダム	0.49

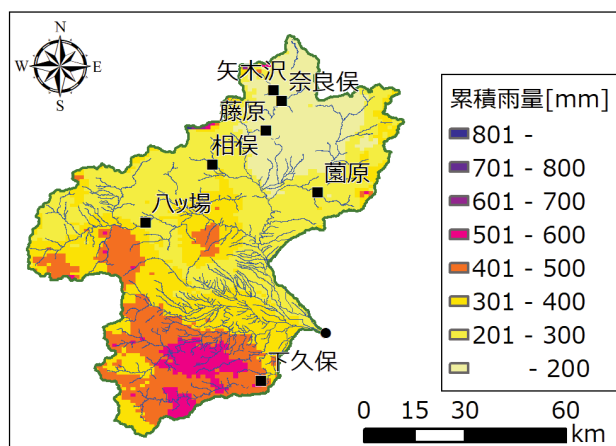


図-4 八斗島上流域における3日間の累積降雨分布図

は執筆時現在では暫定値である。この結果、八斗島水位観測所及び比較的流入量の大きかった藺原、草木ダムにおいてNash係数が0.7以上となった。以上より、流域全体として高水に対するおおよその再現性があるとして、パラメータを決定した。

3. 令和元年台風19号の再現計算

令和元年台風19号における八斗島地点の洪水流量を見積もるため、前項で構築したRRIモデルを用いて、利根川流域における河道流量の再現計算を実施した。

ここで、計算期間はパラメータ同定時と同様、助走計算期間を含めた2019年9月1日～11月1日とし、雨量データには気象庁解析雨量を用いた。利根川上流域ダム群の放流量は水文水質データベースより入手した実績放流量を強制流量としてダム地点下流の河道に与えた。

(1) 八斗島上流域における降雨規模の算定

再現計算に用いる気象庁解析雨量より、本出水の降雨規模の算定を実施した。降雨規模の算定には10月11日0時～14日0時の3日間のデータを用いた。

まず、八斗島上流域(5,150km²)における累積降雨分布図を図-4に示す。これにより、流域の北側の奥利根流域では降雨量が小さく、南側に位置する烏川・神流川流域に降雨が集中していたことが見て取れる。

次に、流域平均雨量のハイエトグラフを図-5に示す。八斗島上流域におけるピーク降雨量は23.6mm、3日間の累積降雨量は310.42mmであった。

利根川水系利根川・江戸川河川整備計画⁹⁾によると、八斗島上流域における既往最大の洪水は1947年(昭和22年)9月のカスリーン台風によるもので、その八斗島上流域平均3日雨量は308.6mmである。すなわち、カスリーン台風における降雨の空間分布とは異なるものの、降雨規模で見ればほぼ同等であったことが示された。

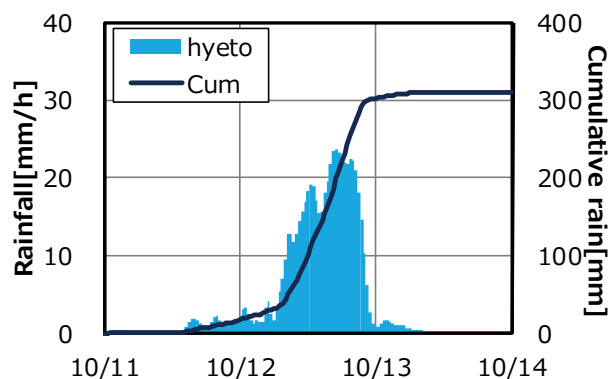


図-5 令和元年台風19号八斗島上流域平均降雨ハイエトグラフ

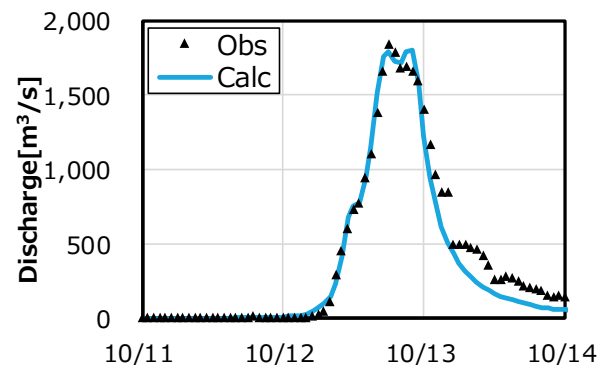


図-6 台風19号再現計算の下久保ダム流入量ハイドログラフ

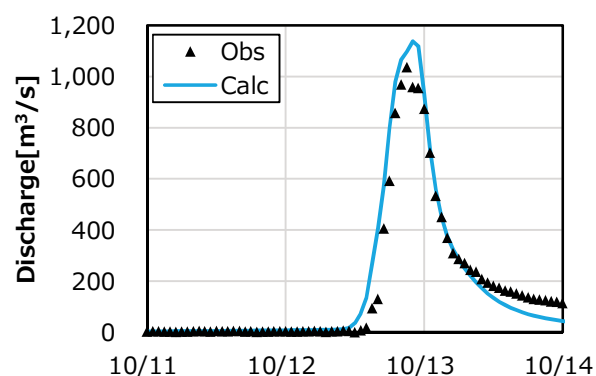


図-7 台風19号再現計算の藺原ダム流入量ハイドログラフ

(2) ダム地点の再現性検証

以上の計算条件により、利根川上流ダム群における流入量を観測値と計算値と比較することにより本洪水におけるRRIモデルの再現性の検証を行った。計算結果の例として、下久保ダムおよび藺原ダムにおける流入量ハイドログラフを図-6、図-7に示す。また、表-2にそれぞれのダム流入量のNash係数を示す。降雨規模の小さい奥利根流域にある奈良俣ダムおよび藤原ダム以外の地点で0.7以上となっており、モデルの精度として良好と言えるため、本解析の妥当性が示された。また、試験湛水中であったハッ場ダムについても、国土交通省関東地方整備局の公表資料⁹⁾にもとづきダム流入量を比較すると、Nash係数は0.97となり、その再現性は高いことが示された(図-8)。推定ピーク流入量は2,385m³/s、実績ピーク流入量は2,550m³/sである。

表-2 令和元年台風19号再現計算のNash係数一覧

観測地点	Nash係数
矢木沢ダム	0.84
奈良俣ダム	0.46
藤原ダム	0.67
相俣ダム	0.80
園原ダム	0.83
草木ダム	0.91
下久保ダム	0.91

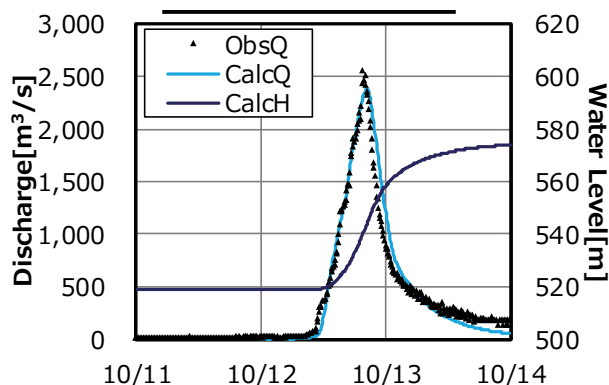


図-8 台風19号再現計算のハッ場ダム流入量と貯水位

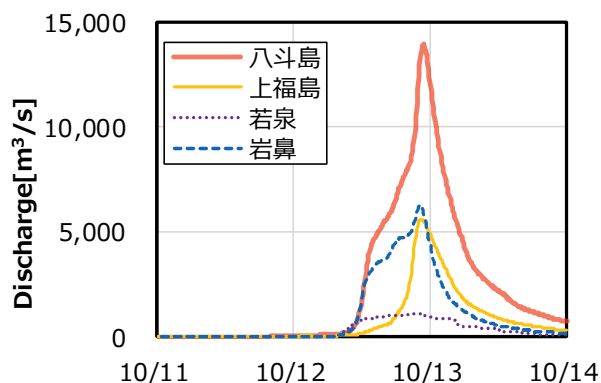


図-9 台風19号再現計算の流量ハイドログラフ

(3) 八斗島地点における流量の推定

(2)でモデルの妥当性が示されたため、このモデルの計算結果による八斗島地点における河道流量の算定を実施した。なお、八斗島水位観測所における本出水期間の観測流量は執筆時時点では公表されていない。計算流量のハイドログラフを図-9に示す。本解析における八斗島地点の推定ピーク流量は $13,925\text{m}^3/\text{s}$ となり、その発生時刻は10月12日22時50分、実績によるピーク水位の発生時刻が同日23時¹⁰⁾であり、その差異は小さい。図-10に計算流量と実績水位から求めた八斗島地点における水位 - 流量曲線を示す。これよりそのループ特性は小さいことが分かる。利根川水系利根川・江戸川河川整備計画⁹⁾に示された八斗島地点における目標流量は $17,000\text{m}^3/\text{s}$ (年超過確率1/70程度)であり、そのうちの $14,000\text{m}^3/\text{s}$ を河道で安全に流下させることを目標としている。これにより、本

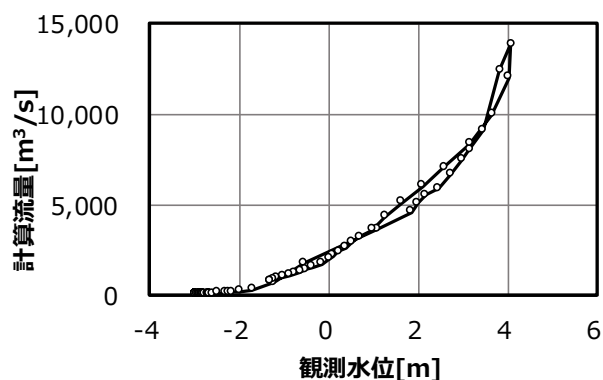


図-10 八斗島水観測所における水位-流量曲線図

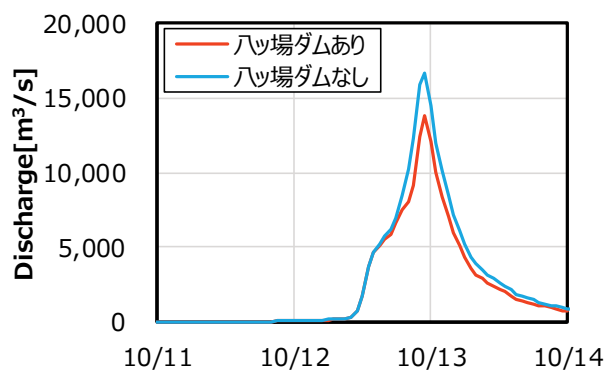


図-11 ハッ場ダム有無での八斗島の流量ハイドログラフ

出水は河川整備計画における河道での目標流量と同等であったことが推定される。

次に、八斗島地点の洪水流量を構成する各河川からの寄与分を推定した。すなわち八斗島地点上流にある利根川本川の上福島水位観測所、烏川に合流する神流川の若泉水位観測所、神流川合流点上流にある烏川の岩鼻水位観測所地点においてそれぞれの流量ハイドログラフを求め、これを図-9に示す。これを見ると、八斗島地点のピーク流量 $13,925\text{m}^3/\text{s}$ に対し、利根川本川から $5,601\text{m}^3/\text{s}$ 、神流川から $1,140\text{m}^3/\text{s}$ 、烏川から $6,278\text{m}^3/\text{s}$ であり、単純な合算で一致するものではないが、烏川流域からの寄与が大きいことがわかる。神流川上流には下久保ダムがあり、本出水時には最大で $1,045\text{m}^3/\text{s}$ の洪水調節が行われていた¹¹⁾が、一方で烏川には河川整備計画に調節池整備が位置づけられているものの、現時点においては未整備であり、貯留施設がないことは今次出水が利根川の治水に投げかけた課題だと言える。

さらに、同じモデルを用いてダム及び氾濫がなかったと仮定した条件でも、本出水における八斗島地点の流量を試算した。この結果、八斗島地点における計算流量は $18,093\text{m}^3/\text{s}$ となり、その推定値は整備計画目標流量(洪水調節施設無しの流量)を超える規模となった。

(4) 八斗島地点におけるハッ場ダムの効果

今次出水におけるハッ場ダムの効果を見るために、ハッ場ダムがなかった場合を仮定して八斗島地点における流量ハイドログラフを推定した(図-11)。今次出水にお

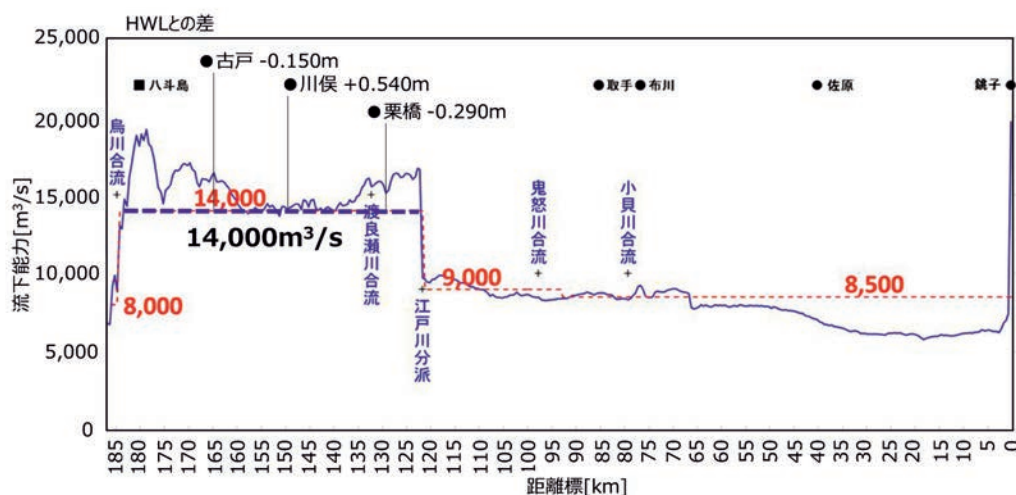


図-14 HWLと実績ピーク水位の差と現況流下能力(利根川・江戸川河川整備計画より利根川河道目標流量図に加筆)

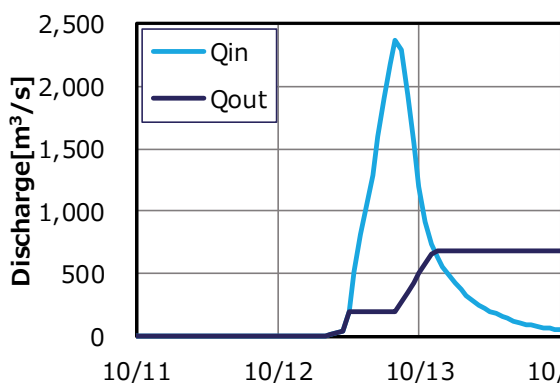


図-12 ハッ場ダムにおける推定流入量・放流量ハイドログラフ

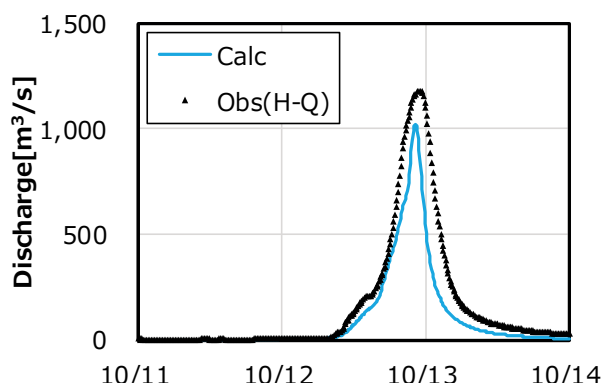


図-15 広瀬川下武士水位観測所における流量ハイドログラフ

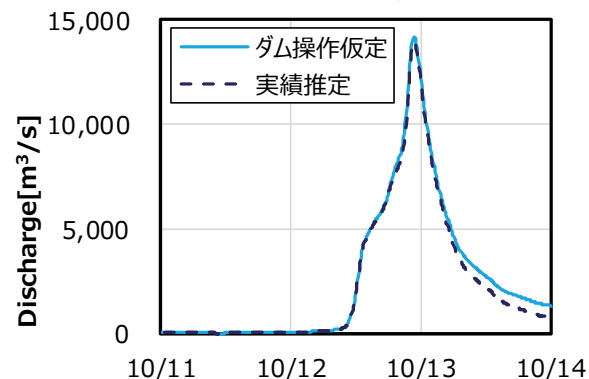


図-13 ハッ場ダム調節操作を仮定したときの八斗島の流量

ける本解析での八斗島の推定ピーク流量は13,925m³/sであり、ハッ場ダムがないと仮定した場合の推定ピーク流量は16,867m³/sであった。これにより、八斗島地点において2,942m³/sの洪水調節効果があったことが示された。すなわち、八斗島地点においてハッ場ダムは約17%の洪水調節を行ったことになる。

さらに、今次出水においてハッ場ダムが洪水調節計画に基づく洪水調節¹²⁾を行ったと仮定した検討を実施した。ここで、ハッ場ダムの洪水操作は以下のようになる。①流入量が200m³/sに達したときから洪水調節を開始し、ピーク流量発生時刻まで200m³/sを放流する。②ピーク流量発生後は、放流開始時刻からピーク流入量発生時刻

までの時間をかけてダム最大放流量まで増加させる。ダム最大放流量=(最大流入量-200)×0.28+200に基づく。③放流量が流入量と等しくなった時点からその流量を一定放流する。

このときの本モデルで推定された流入量と放流量のハイドログラフを図-12に示す。このハイドログラフから、今次出水におけるハッ場ダムの最大放流量は約680m³/sと推定される。また、八斗島地点における流量ハイドログラフを実績推定のハイドログラフと比較した(図-13)。八斗島のピーク流量は14,187m³/sと推定され、実績の推定流量よりも260m³/s増加するものの、ハッ場ダムがなかったと仮定した場合の流量に対して約16%の流量低減に寄与したと言える。このため、今次出水においてハッ場ダムが本運用されていたとしても、下流の洪水調節に大きく貢献できたと推測される。

(5) 八斗島下流における利根川本川の治水課題

利根川は、八斗島下流区間からの右岸堤防が決壊すると首都圏氾濫の危機が高まり、また左岸堤防の決壊では閉鎖型氾濫貯留による湛水深の増大から甚大な被害をもたらす。この区間の整備計画の河道目標流量は図-14に示すように現況流下能力にほぼ等しい14,000m³/sとしている。しかしながら、川俣水位観測所において、本出水

では計画高水位7.46mのところ、ピーク水位は8.00mを記録しており、計画高水位を0.54m上回る洪水となった。川俣地点までには、広瀬川、早川、小山川、石田川の支川洪水流量が加算される。そこでこれらの支川合流流量もRRIモデルから検討したが、広瀬川を除いて計算ピーク流量と実績ピーク水位の発生時刻に大きな差が生じ(計算ピーク流量発生時間が実績ピーク水位発生時間に比べて早い)、本川への支川合流の評価に課題があるものと判断した。これは空間解像度の問題の他、八斗島地点下流からのセグメント2相当の沖積平野での流出過程、とくに支川、本川の不定流効果の取り込みに関する課題と考えている。ただし、広瀬川合流地点に近い下武士水位観測所での計算値と観測値のピーク時刻がおおよそ対応する(図-15)ため、広瀬川からの合流のみ考慮した川俣水位観測所地点における流量の推定を行うと、15,624m³/sとなる試算値を得るが、今後の精緻な議論が必要である。

以上により、本出水における川俣地点の推定流量が河道目標流量(14,000m³/s)を上回ることが理解され、危機的な状況であったことが分かる。したがって、本区間の河道で計画高水位以下に流下させるための河道目標流量を達成させるための洪水調節施設、本川下流区間の流下能力向上のための河川改修(河道掘削)が必要であることが示唆された。

4. まとめ

本研究では、令和元年台風19号における利根川上流域の洪水流量を見積もり、利根川の治水上の問題点を推察することを目的とした。この結果により、以下の6つの成果を得た。

- ① 気象庁解析雨量より、八斗島上流域における3日間の累積平均雨量は310mmとなり、1947年のカスリーン台風による降雨規模(308.6mm)と同程度であることを示した。
- ② 利根川上流ダム群およびハッ場ダムにおける計算流入量を実績流入量と比較し、その良好な対応から本解析の妥当性を提示した。
- ③ 八斗島における推定流量は13,925m³/sであり、これは利根川水系整備計画における河道目標流量と同等の規模であることを示した。また、ダム・氾濫なしでの流量は18,279m³/sと推定され、特に烏川水系からの洪水寄与分が大きいことを提示した。
- ④ 八斗島における推定実績流量13,925m³/sに下流支川合流を考慮すると整備計画河道目標流量を上回る。実績として川俣での痕跡水位がHWLを0.54m上回ることから判断すると、推定流量は現況流下能力を超過する流量規模であることを提示した。
- ⑤ 今次出水において試験湛水中であったハッ場ダムは

八斗島水位観測所における洪水流量の約17%の流量低減に寄与したことが推定された。さらに、本運用していた場合においてもハッ場ダムは今次出水に対して16%程度の洪水調節を行ったと推測された。

- ⑥ 本出水における推定流量は現況の流下能力を上回る流量規模であったことが推察され、危機的な状況であった。今次出水から、八斗島下流区間の河道目標流量を達成させるための洪水調節施設、流下能力向上が必要であることが示唆された。

参考文献

- 1) Takahiro Sayama, Go Ozawa, Takahiro Kawakami, Seishi Nabesaka, Kazuhiko Fukami: Rainfall-Runoff-Inundation Analysis of Pakistan Flood 2010 at the Kabul River Basin, Hydrological Sciences Journal, 57(2), pp. 298-312, 2012.2.
- 2) RRI Model ダウンロードサイト: 土木研究所水災害・リスクマネジメント国際センターホームページ, http://www.icharm.pwri.go.jp/research/mi/mi_contract_j.html, バージョン1.4.2.3, 2017/9/15現在。
- 3) 近者敦彦, 中村要介, 阿部紫織, 佐山敬洋, 若月泰孝: 平成27年9月関東・東北豪雨における鬼怒川上流ダムによる洪水調節効果の分析, 土木学会論文集B1(水工学), Vol.74, No.4, pp.I_1507-I_1512, 2018.
- 4) 山崎大, 富樫冨佳, 竹島滉, 佐山敬洋: 日本全域高解像度の表面流向データ整備, 土木学会論文集B1(水工学), Vol.75, No.5, pp.I_163-I_168, 2018.
- 5) 日本域表面流向マップ, <http://hydro.iis.u-tokyo.ac.jp/~yamada/JapanDir/>, 2019/5/31現在。
- 6) 国土交通省関東地方整備局, 記者発表資料 令和元年台風19号におけるハッ場ダムの試験湛水状況について(令和元年10月13日発表), https://www.ktr.mlit.go.jp/ktr_content/content/000757984.pdf
- 7) 国土交通省関東地方整備局ハッ場ダム工事事務所, 貯水容量配分図, https://www.ktr.mlit.go.jp/yanba/yanba_index013.html
- 8) 国土交通省関東地方整備局, 利根川水系利根川・江戸川河川整備計画(令和2年3月), https://www.ktr.mlit.go.jp/river/shihon/river_shihon00000411.html
- 9) 国土交通省関東地方整備局, 台風19号における利根川上流ダム群の治水効果(速報)(令和元年11月), https://www.ktr.mlit.go.jp/ktr_content/content/000763056.pdf
- 10) 国土交通省関東地方整備局利根川上流河川事務所, 令和元年東日本台風による出水速報(第2報), 令和2年3月16日, https://www.ktr.mlit.go.jp/ktr_content/content/000770371.pdf
- 11) 独立行政法人水資源機構下久保ダム管理所, 下久保ダム記者発表資料(2019年10月13日発表) <https://www.water.go.jp/kanto/simokubo/news/press/pdf/R1T19kisyahappyou.pdf>
- 12) 国土交通省関東地方整備局, H23利根川上流部治水検討業務(ダム検証編)報告書, 平成24年3月。

(2020. 4. 2受付)