

# 鬼怒川中下流部の地形変化が河道貯留および 平面流況に与える影響に関する基礎的検討 ～平成27年9月出水をケーススタディとして～

BASIC ANALYSIS OF INFLUENCE OF TOPOGRAPHIC CHANGE ON  
RIVER STORAGE AND FLOW FIELD IN MID- AND DOWNSTREAM  
REACH OF KINUGAWA RIVER: A CASE OF 2015 FLOOD

池田裕一<sup>1</sup>・飯村耕介<sup>2</sup>・坪井文音<sup>3</sup>  
Hirokazu Ikeda, Kosuke Iimura and Ayane Tsuboi

<sup>1</sup>正会員 博士(工学) 宇都宮大学教授 地域デザイン科学部 社会基盤デザイン学科  
(〒321-8585 栃木県宇都宮市陽東7-1-2)

<sup>2</sup>正会員 博士(工学) 宇都宮大学助教 地域デザイン科学部 社会基盤デザイン学科(同上)

<sup>3</sup>東京都 建設局

Numerical analysis of horizontal two dimensional flow was performed to examine the influence of topographic change on river storage and flow field in mid- and downstream reach of Kinugawa River. Two sets of topographic data in 1974 and 2011 were used. A time series of discharge estimated for flood disaster in September 2015 was imposed at the upstream end of each topography. It is shown that the reduction of peak discharge from the upstream end until Mitsukaidou with 2011's topography is smaller by 250m<sup>3</sup>/s than that with 1974's topography, 790m<sup>3</sup>/s. It is also indicated that storage rate per unit length is maximum at the upstream zone of the downstream reach with significant longitudinal change in river width, rather than midstream reach mentioned before. In addition, changes of two dimensional flow field with topographic transition at some points are discussed.

**Key Words :** Kinugawa River, Heavy rain in Kanto and Tohoku region in September 2015,  
numerical analysis, peak reduction, river storage, topographical change

## 1. はじめに

平成27年9月関東・東北豪雨において、鬼怒川では茨城県常総市の堤防決壊をはじめ、各地で甚大な被害が発生した<sup>1)</sup>。この水害を契機に、今後の気候変動に伴い大規模出水の可能性が高くなることや、一旦堤防が決壊すると甚大な被害が発生することが強く認識され、平成27年12月には「水防災意識社会再構築ビジョン<sup>2)</sup>」が策定されて、洪水を安全に流すためのハード対策だけでなく、危機管理型のハード対策および住民目線でのソフト対策をも推進されることとなった。そして鬼怒川では、「鬼怒川緊急対策プロジェクト<sup>3)</sup>」が立ち上げられ、ハード対策としては主として下流区間を対象に、堤防嵩上げや河道掘削などの整備が進められている。

ところで鬼怒川は図-1,2に示すように、平野部を流れる約100km区間のうち45kmを境に河道幅・河床勾配が大きく変化しており<sup>4)</sup>、河道幅の広い中流部の貯留効果によるピーク

流量の低減を期待して治水計画が策定されている<sup>5)</sup>。今次出水における貯留特性については、40km地点付近の蛇玉状河道の貯留効果<sup>6)</sup>や下流区間の縦断的な河幅変化と竹林の影響を検討した例<sup>7)</sup>が見られる。さらに福岡<sup>8)</sup>は、今次出水における上流のダム群および中流の河道部分も含めた流域システム全体の挙動を精査し、流域レベルで治水ストックのより効果的な活用を目指す流域治水の構築を提唱している。そのなかで、河床低下の進行により(図-3参照)河道内貯留効果が損なわれてきたことが指摘されているが、この機会に、今回の規模の出水が過去の鬼怒川の地形上で発生した際に、どこにどれほどの貯留効果が見られるか、現時点の地形上でのものと比較・検証しておくことは、今後の河川整備のあり方を検討するためにも有意義であろう。さらに中流域ではこれまで側岸浸食の被害が多く<sup>9)</sup>、河道内における流れの集中や高速流領域の状況を確認できる平面2次元流としての検討も必要である。

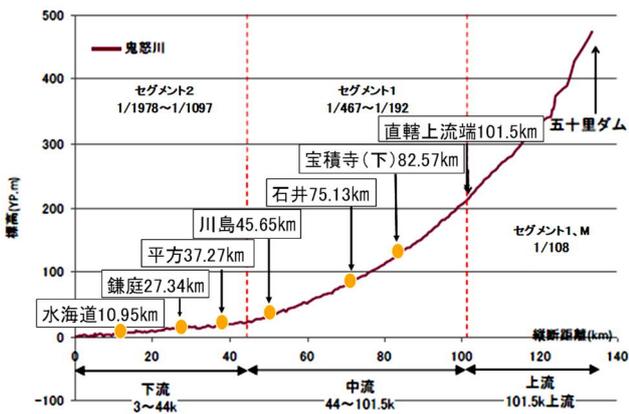


図-1 鬼怒川の縦断地形

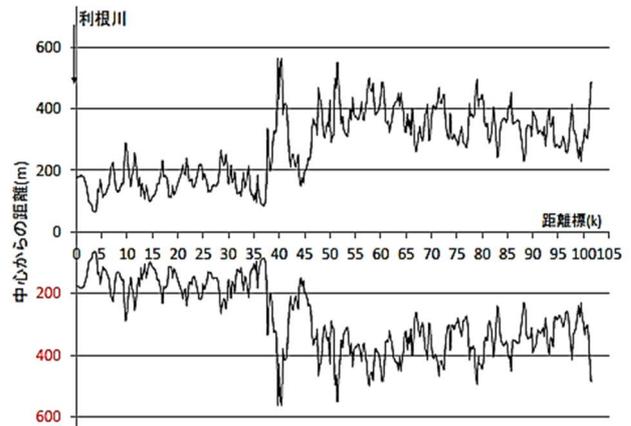


図-2 鬼怒川の河道幅

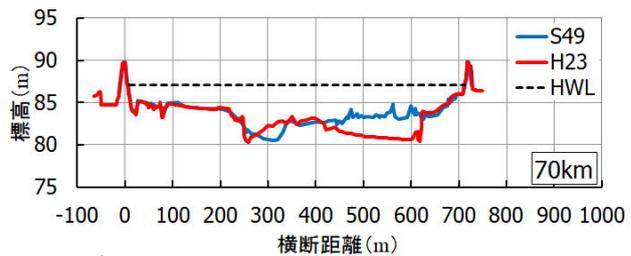
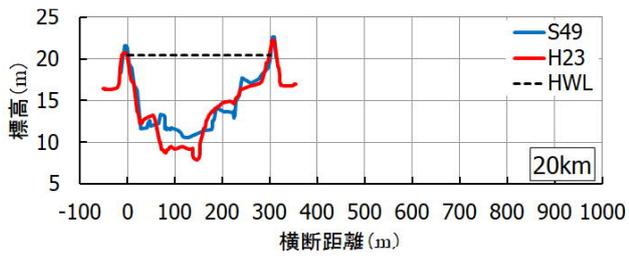


図-3 H23年とS49年との地形変化の例

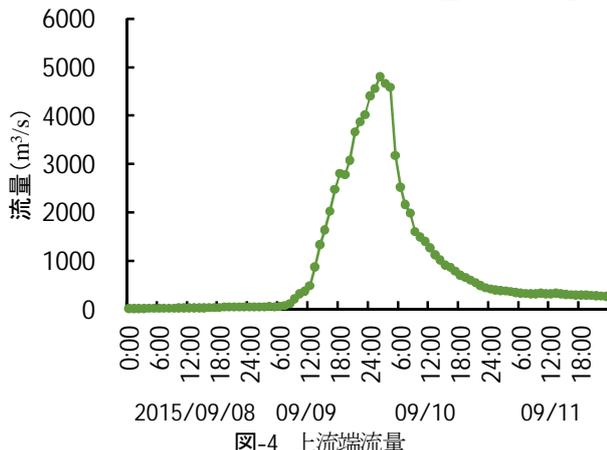


図-4 上流端流量

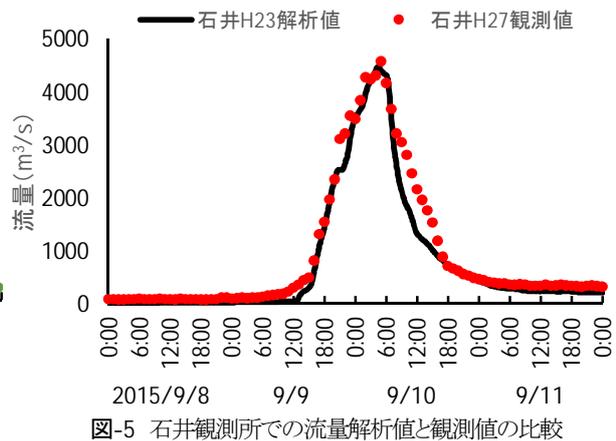


図-5 石井観測所での流量解析値と観測値の比較

そこで本研究では、今次出水を対象とした平面2次元流の数値解析を実施し、河道低減効果および2次元流況の全川的な様相を把握するとともに、過去の地形での解析結果とも比較し考察を加えるものである。

## 2. 解析方法および条件

解析にはiRICシステムのNays2DHソルバーを用いた<sup>9)</sup>。解析対象範囲は利根川合流点より3~101.5kmとし、今次出水の直前の平成23年度とその約40年前の昭和49年度それぞれの横断測量成果をもとに、2セットの地形データを作成した。

上流端で与える流量時系列は、今次出水の各観測所での水位観測データと石井観測所の流量データから、連続式を用いて推定したものと<sup>1)</sup>と、中流部最上端(106.8km)の佐貫観測所における過去のデータ<sup>10)</sup>から求めた流量-水位関係を今次出水の水位データに適用した結果とを勘案して、図-

4のようにした。先述の2つの地形データセットにこの同じ流量時系列を与えて、解析結果を比較検討することとした。ここで、マンニングの粗度係数は全区間で一律に0.03とし、植生抵抗は考慮せずに解析を実施した。また、三坂地区での決壊および若宮戸地区での溢水は考慮せず、堤防天端から仮想的な鉛直壁があるものとして計算を進めた。下流端の条件は、水位を等流計算で与えるものとした。

## 3. 解析結果および考察

図-5は石井観測所地点における、H23年度地形を用いた解析結果(以下、「H23解析値」と略す)とH27年の観測データ(以下、「H27観測値」と略す)の流量時系列を示したものである。時系列の状況、特にピークの流量と時刻がほぼ一致しており、本研究の解析モデルによる今次出水の再現性が確認できる。

図-6は各観測所におけるピーク水位の観測値と解析値を

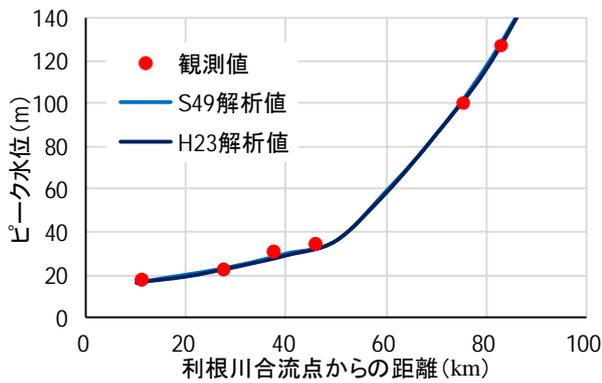


図-6 各観測所での解析値と観測値の比較(ピーク水位)

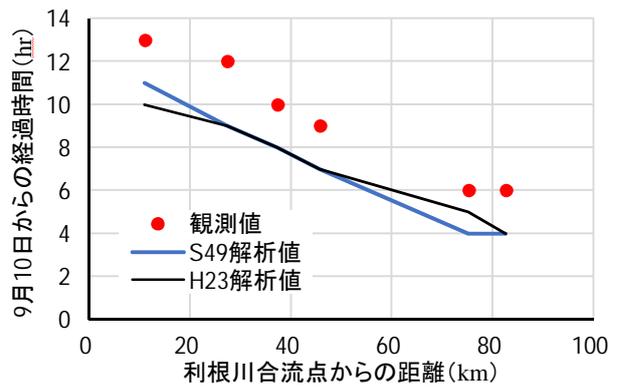


図-7 各観測所での解析値と観測値の比較(ピーク時刻)

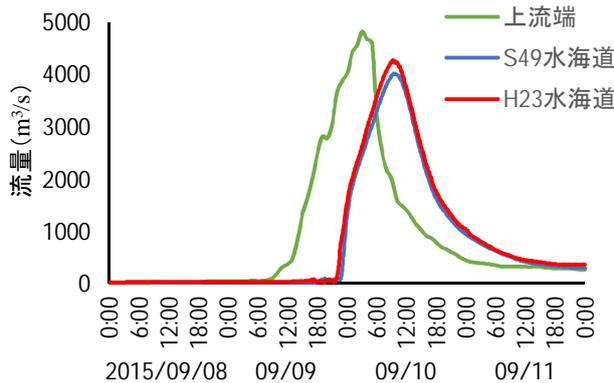


図-8 水海道観測所でのS49・H23解析値の比較

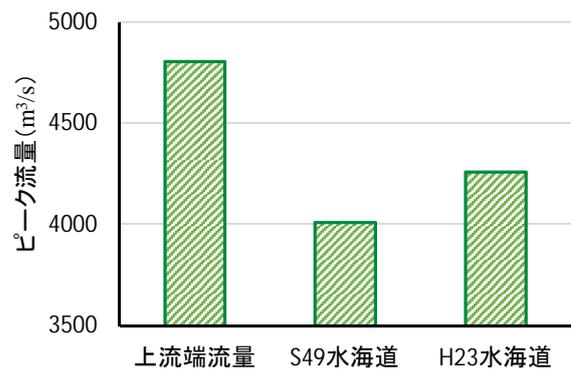


図-9 水海道観測所でのピーク流量の比較

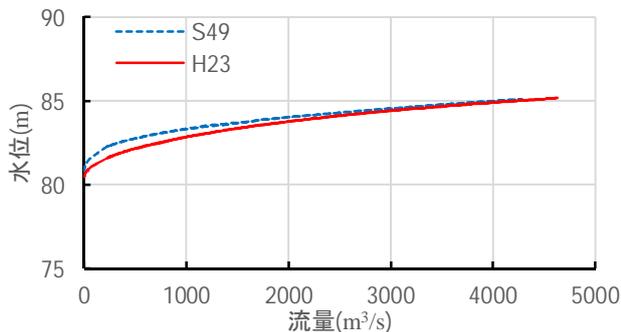


図-10 70km地点の水位-流量相関図

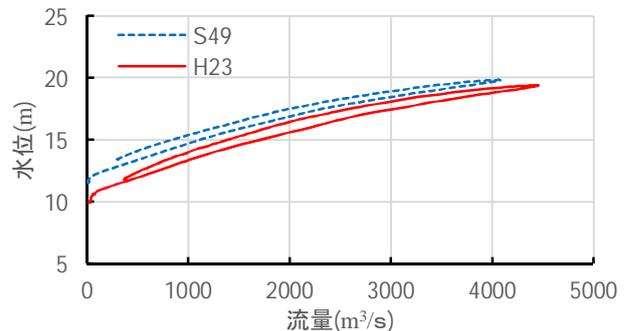


図-11 20km地点の水位-流量相関図

比較したものである。H23解析値とS49解析値は、ほぼ重なっており、地形変化の影響は見られない。またこれら解析値とH27観測値とはよく一致している。図-7は、水位ピークの伝播状況を示したものである。2つの解析結果はさほど違いがなく、H27観測値よりもピーク時刻が1、2時間早目になっている。これは粗度係数を低水路と高水敷の区別なく一律にしたことや、植生抵抗を考慮していないために、早目に到達したためである。それでも解析結果は観測値の傾向をよく表しており、鬼怒川では下流部が中流部に比べ伝達速度が遅いという特徴を若干ながら再現しているといえる。

図-8は、上流端および水海道での解析結果の流量時系列を示したものである。これを見るとS49とH23解析値のピーク時刻ほぼ同じであるが、流量ピークは、H23解析値で約4260 $\text{m}^3/\text{s}$ 、S49解析値で約4010 $\text{m}^3/\text{s}$ である。この間の地形変化によって約250 $\text{m}^3/\text{s}$ も流量ピークが大きくなっていることが

わかる。これを図-9のように上流端でのピーク流量(約4800 $\text{m}^3/\text{s}$ )からの低減量で考えると、S49解析値では約790 $\text{m}^3/\text{s}$ 、H23解析値では約540 $\text{m}^3/\text{s}$ となり、無視できない変化といえる。

図-10、11はそれぞれ中流域、下流域の代表地点での流量-水深相関図である。中流域・下流域ともに、同じ流量に対してS49解析値の水位のほうがH23解析値よりも高いことがわかる。解析においては、粗度係数は一律であり植生変化は考慮していないので、この変化は単純に地形(断面形状)の変化によるものであり、局所的な河床低下の分だけH23解析値の水位が低下したものと推測される。また中流域ではS49解析値の水位が上昇するにつれて流下能力も大きくなり、H23解析値と同等になる。これは、河床低下のないS49の地形のほうがすぐに水面幅が大きくなり、流下能力が増加するためと考えられる。また中流域では、増水期・減水期を通して流量・水深関係が一意的であり、下流域では

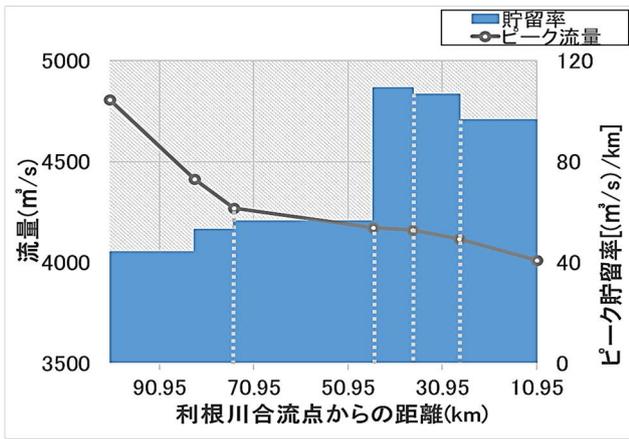


図-12 S49 解析における観測所間の貯留率

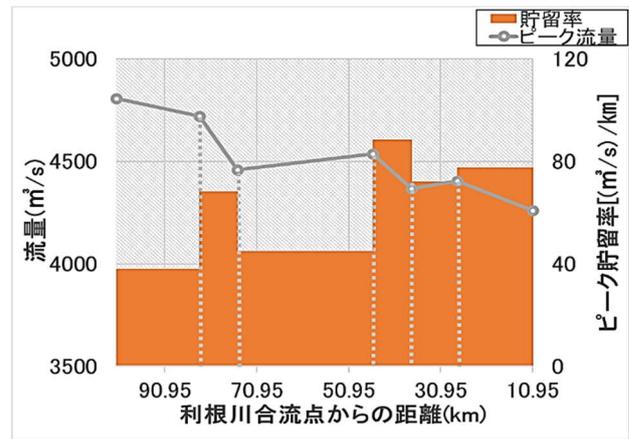


図-13 H23 解析における観測所間の貯留率

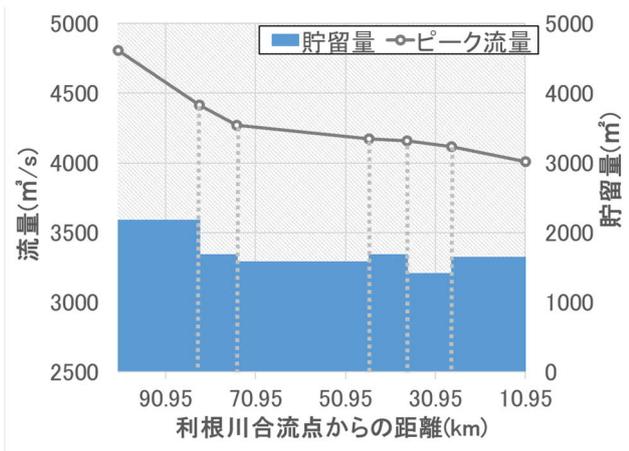


図-14 S49 解析における区間長あたり貯留量

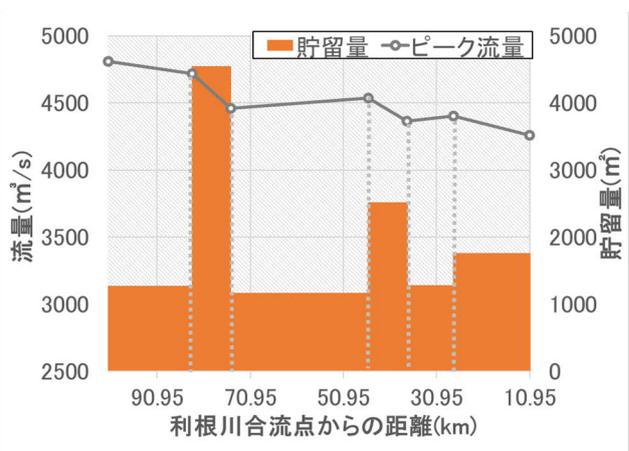


図-15 H23 解析における区間長あたり貯留量

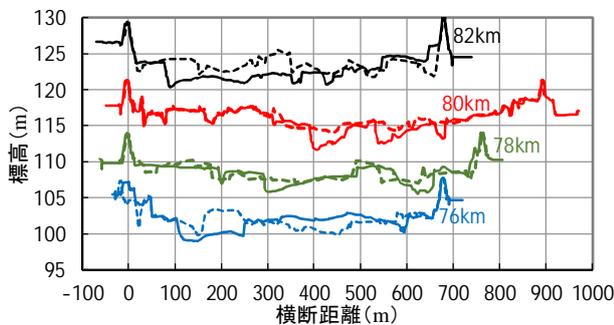


図-16 76～82km 区間での断面地形変化(実線:H23, 破線:S49)

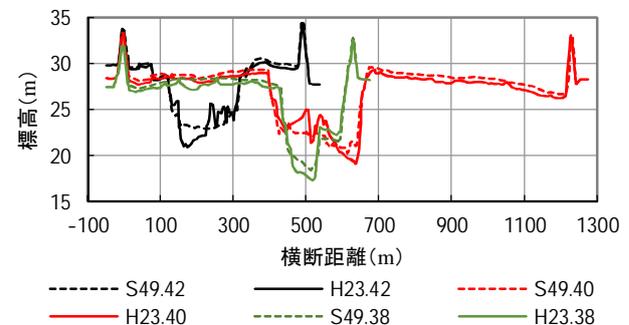


図-17 38～42km 区間での断面地形変化(実線:H23, 破線:S49)

ループを描いている。これは、河野ら<sup>11)</sup>が指摘しているように、中流域ではkinematic wave的、下流域ではdynamic wave的に伝播していることを示すものである。

図-12, 13はそれぞれS49, H23解析値について、各観測所でのピーク流量とその間の長さあたり貯留率のピークとの対応を示したものである。ここで貯留率は、各観測所を通過する流量時系列の差をとったもので<sup>9)</sup>、観測所間距離が均等でないので、それで除して単位長さあたりの貯留率として比較することとした。H23解析値の貯留率はS49解析値と比較して全体的に減少しており、中流域全体では $2900\text{ m}^3/\text{s} - 2580\text{ m}^3/\text{s} = 320\text{ m}^3/\text{s}$ 、下流域全体では $3560\text{ m}^3/\text{s} - 2730\text{ m}^3/\text{s} = 830\text{ m}^3/\text{s}$ であり、特に下流での減少が大きい。また下流域のほうがピーク貯留率が大きく、その最上端の40km付近で最

大となる。この区間は河道幅が大きく変化する蛇玉状河道となっていて、大きな貯留効果が現れるものと考えられる。

図-14, 15はそれぞれS49, H23解析値について、各観測所間の長さあたり貯留量を示したものである。ここで貯留量は、貯留率が正である時間だけこれを時間積分したもので、当該区間に実際に貯留された体積といえる。これを観測所間距離で除して、単位長さあたりの貯留量として比較することとした。これらの図を見ると、H23において局所的に貯留量の大きな区間があるものの、全体として、S49からH23へと貯留量が減少している。また長さあたり貯留量は、中流域と下流域でさほど違いが見られない。貯留量全体(グラフの面積)としては、中流域は下流域の2倍ほどになる。これは、中流域の河道幅が大きく、また中流域として貯留している時間

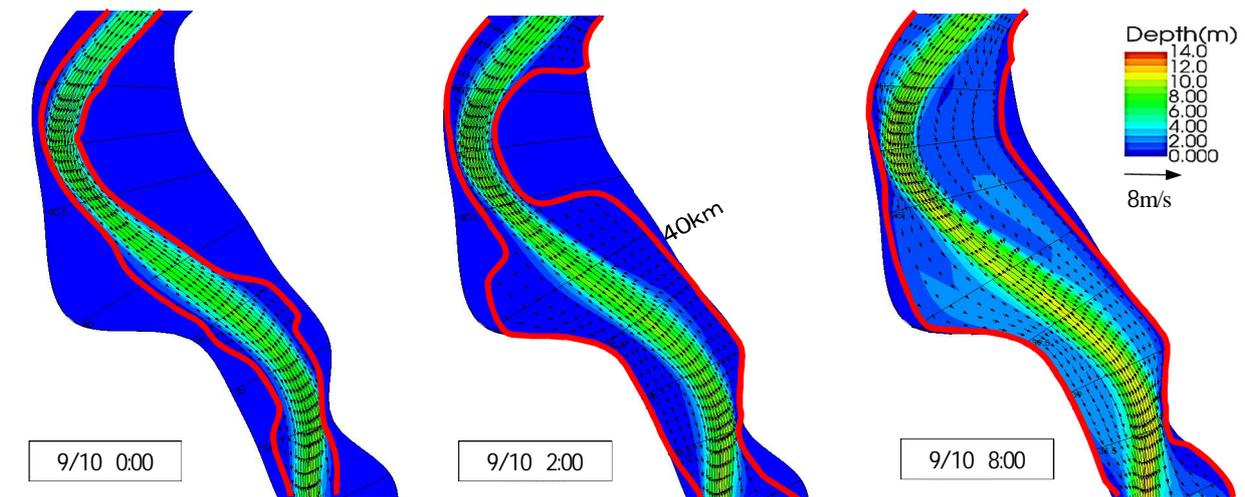


図-18 S49 解析結果の40km 付近における流況の時間変化(赤線:水際線)

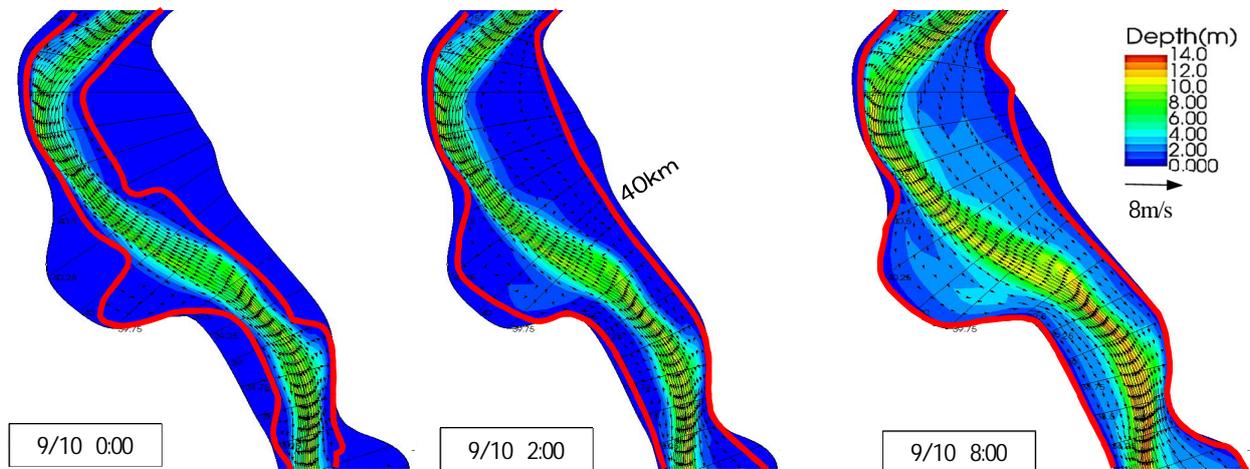


図-19 H23 解析結果の40km 付近における流況の時間変化(赤線:水際線)

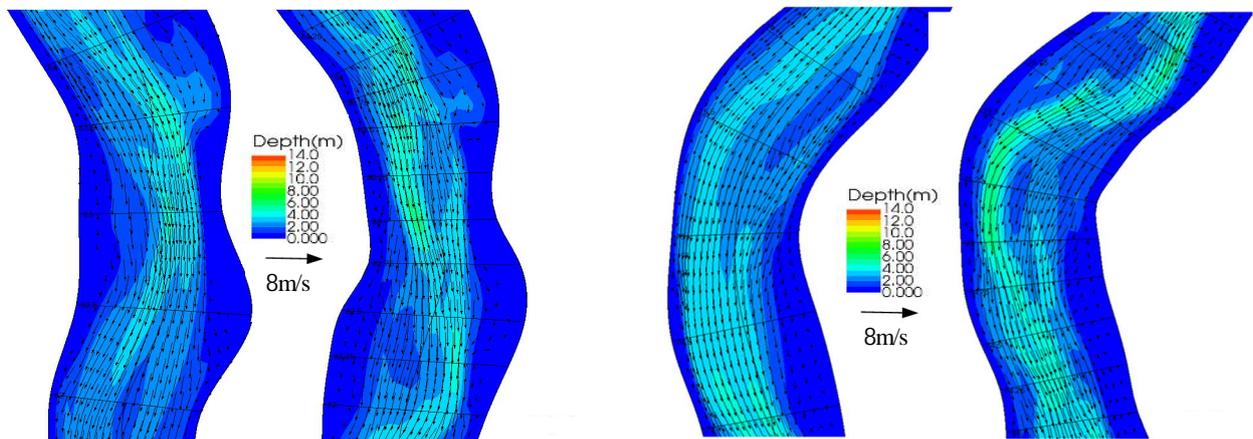


図-20 宝積寺(下)観測所付近の流況(左:S49 右:H23)

図-21 石井(右)観測所付近の流況(左:S49 右:H23)

が長いと考えられる。

図-15では、2箇所の間で貯留量が局所的に大きい。そこで、これらの区間での地形変化を図-16,17に示す。図-16を見ると、H23のほうが82kmで河床低下した分だけS49よりも縦断勾配が緩やかになっていることがわかる。さらにH23では局所的な河床低下によって形成された滞筋が蛇行している状況が見られ、これらによってS49よりも大きな貯留効果が現れていると推測される。また図-17を見ると、40km断面

において、H23の低水路中央で河床の上昇が見られる。これによって、流れが高水敷に乗り上げるのが容易になり、この区間で貯留量が増加しているものと考えられる。

図-18, 19は、それぞれS49, H23解析値について、40km 付近の蛇玉状河道におけるピーク時刻近くの流況の時間変化を示したものである。両者ともに、流れが高水敷に乗り上げて、この区間で貯留効果を発揮する様相を捉えることができる。特に、S49に比べてH23では、2:00の時点ですでに

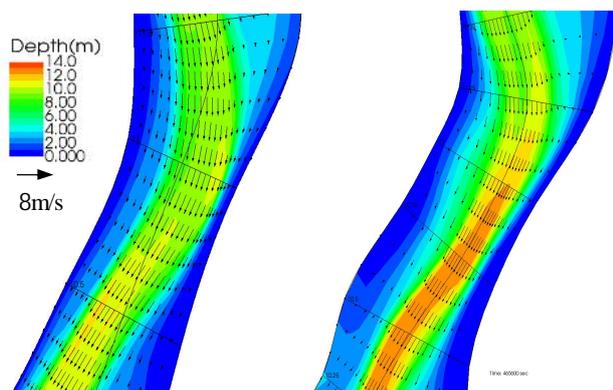


図-22 水海道観測所付近の流況(左:S49 右:H23)

河道幅全体に流れが生じており、図-17に見られるような低水路中央での河床上昇により貯留効果が大きく現れている。また、8:00の状況を見るとS49よりもH23のほうが水深が明らかに大きい。これは図-17の38km断面に見られる河床低下によるものである。加えて、H23解析値では河道幅が狭くなるすぐ下流で流れが集中して高速になっており、単に流量を量的に貯留するだけでなく、洗掘などに対する質的な安全性にも配慮する必要がある。

図-20, 21は、中流域の宝積寺および石井観測所付近のピーク時における2次元流況を示したものである。この区間は2列あるいは複列流路が形成される地形区分であるが、H23解析値では、濡筋が低下しその幅も縮小しているため、その部分の水深が深く、流速が速くなっていることがわかる。

図-22は、水海道観測所付近の流況を示したものである。H23解析値ではやはり、低水路水深が大きく、流速も速くなっており、低水路河岸の侵食の危険性が高まっていることがわかる。これより、S49からH23までの地形変化により、中流域は当然ながら下流域も河岸侵食の危険性が高まっていたと推察される。

#### 4. おわりに

本研究では、鬼怒川の下流域と中流域と合わせた平野部全体に対して、平成27年9月豪雨の際の流量を与えて平面2次元シミュレーションを実施した。その結果、H23解析値ではS49解析値に比べて、上流端から水海道に至るまでの流量ピークの低減量がおおよそ30%減少することがわかった。これは局所的な河床低下のために、流量の増加に対して高水敷に乗り上げて水面幅が大きくなる効果が弱まったためである。また、区間長あたりの貯留率は、中流域よりも下流域のほうが大きく、下流域の上流端のいわゆる「蛇玉河道」での貯留効果が高いとみられる。貯留率を時間積分した貯留量を区間長当たりで比べると中流域と下流域でさほど違いはなかった。ただし、貯留率・貯留量ともに、S49解析値に

比べてH23解析値では明らかに減少しており、この間の地形変化の影響は無視できないといえる。また、局所的にH23解析値のほうが貯留効果が高い区間が見られたが、これは、地形変化の影響が一方向的に貯留効果の減少につながるものではないことを示している。

これらを踏まえ、下流域の流下能力の負担軽減という視点からも中流域の河道整備のあり方を検討し、鬼怒川全体の特性を活かした治水対策を検討していく必要がある。

今後は、一律に与えた粗度係数をさめ細かく設定し、また植生抵抗も考慮して解析を進めていく予定である

**謝辞：**本研究を実施するに当たり、国土交通省関東地方整備局下館河川事務所より、貴重なデータを提供していただきました。ここに記して謝意を表します。

#### 参考文献

- 1) 田中茂信 (研究代表者) :平成27年9月関東・東北豪雨による災害の総合研究報告書、平成27年度科学研究費補助金特別研究促進費、2017。
- 2) 国土交通省 水管理・国土保全局 : 水防災意識社会 再構築ビジョン、2015。
- 3) 国土交通省 関東地方整備局 下館河川事務所 : 鬼怒川緊急対策プロジェクト、[http://www.ktr.mlit.go.jp/shimodate/shimodate\\_index041.html](http://www.ktr.mlit.go.jp/shimodate/shimodate_index041.html) (2018年3月現在)。
- 4) 国土交通省 関東地方整備局 : 第1回鬼怒川堤防調査委員会配布資料、2015。
- 5) 国土交通省 関東地方整備局 : 利根川水系鬼怒川河川整備計画【大臣管理区間】、2016。
- 6) 福岡捷二, 田端幸輔, 出口桂輔 : 平成27年9月洪水における鬼怒川下流区間の流下能力、河道貯留及び河道安定性の検討、河川技術論文集、第22巻、pp.373-378、2016。
- 7) 福岡捷二: 洪水水面形観測情報の広域的・統合的活用による流域治水の考え方の構築に向けて、河川技術論文集、第23巻、pp 251-256、2017。
- 8) (財)河川環境管理財団 河川環境総合研究所 : 鬼怒川の河道特性と河道管理の課題、河川環境総合研究所資料、第25号、2009。
- 9) iRICソフトウェア : <http://i-ric.org/> (2018年3月現在)
- 10) 国土交通省 水文水質データベース : <http://www1.river.go.jp/> (2018年3月現在)
- 11) 河野次朗, 佐多直武, 精松義弘, 嵯峨弘喜, 青木佑久, 須賀堯三 : 鬼怒川における洪水ピーク流量の低減、河道内遊水地及び河道計画について、第25回土木学会関東支部技術研究発表会講演概要集、II、pp.328-329、1998。

(2018. 4. 3受付)