

# 谷底平野を流下する河川の 大洪水時の河幅の研究

## STUDY ON RIVER WIDTHS FOR LARGE FLOOD FLOWING VALLEY BOTTOM PLAINS

坂口達哉<sup>1</sup>・久保雄生<sup>2</sup>・福岡捷二<sup>3</sup>  
Tatsuya SAKAGUCHI, Yuuki KUBO and Shoji FUKUOKA

<sup>1</sup>学生会員 中央大学大学院 理工学研究科 土木工学専攻 (〒112-8551 東京都文京区春日1-13-27)

<sup>2</sup>正会員 工修 株式会社建設技術研究所 (〒330-0071 埼玉県さいたま市浦和区上木崎1-14-6)

<sup>3</sup>フェロー 工博 Ph.D 中央大学研究開発機構教授 (〒112-8551 東京都文京区春日1-13-27)

Flood disasters caused by torrential rainfalls have recently been increasing in Japan. Representative examples are Tochigi Prefecture's Yosasa River disaster in 1998. Far exceeding capacity of flow made river widths and channel shape change because of bank erosion. But, there are few observation data such as discharge or the water level in the middle and small-scale rivers. So, we could not have discussed about appropriate river width and depth required for large flood flows.

In this study, at first, we applied two-dimensional flood flow analysis for the 1998 flood occurred in Yosasa River and examine an evaluation method of the water width from the analysis and inundation situation in the floodplain areas. Then, we clarified a decision method of appropriate river width for large floods in rivers flowing valley bottom plain.

**Key Words :** valley bottom plains, flooding, dimensionless river width, Yosasa River

### 1. 序論

近年、大規模豪雨が頻発するようになり、洪水災害が増加している。特に、山間部の狭長な谷間に形成される沖積地である谷底平野において、大規模豪雨に起因する洪水流が氾濫し、甚大な被害をもたらしている。1998年8月には栃木県那須地方を流れる余笹川、2003年8月には北海道日高地方を流れる厚別川において、河道の流下能力を大きく上回る洪水が発生し、河岸浸食や河道周辺平野部への氾濫による新流路の形成等により洪水前後で河幅や断面形が大きく変化した。両河川では被災後に大規模な災害復旧工事が行われ、50年に1回程度の洪水流量に対応した河道に改修がなされた。しかし、中小河川では流量や水位等の観測データが少ないこともあり、洪水外力に対する適切な河幅や水深等の議論が十分できていない。余笹川については、須賀ら<sup>1)</sup>は河道の横浸食の実態から、低頻度大洪水による横浸食性河道の形成過程の推定及び新流路・横浸食現象の実態を考察した。中川ら<sup>2)</sup>は、余笹川の上流域を対象にタンクモデルを用いた流出解析より洪水規模の推定を行った。また、得られた洪水ハイドログラフをもとに一次元河床変動解析及びレ

ジーム式を用いて洪水後の最大レジーム川幅を算出し、航空写真から求めた洪水後の河道幅との比較から余笹川の河道変動特性を検討した。著者ら<sup>3)</sup>も、余笹川を対象に、河道形成流量で決まる無次元河幅、無次元水深について議論したが、洪水時の水面幅を横断面図と痕跡水位をもとに推定しており、複雑な地形場を有する谷底平野における適切な河幅の評価方法について十分検討できていなかった。

著者らは沖積低地の一種である谷底平野<sup>4)</sup>の成因について、過去に谷底平野を流下する大洪水が発生し、これを河道形成流量として地形を浸食・堆積することで、現在の谷幅、谷底平野が出来たと考えている。その後、幾多の大洪水によって谷幅は変わらなくても、谷底の形状は変化してきたと考えられる。本研究が対象とする余笹川の谷底平野については、今回の1998年洪水は十分大きな洪水であったものの、過去の地形を形成した大洪水に比して規模の小さな洪水であったと考えられる。そのため、1998年の洪水流量では、災害前の流路の浸食や洗掘等を引き起こすことによって、これを河道形成流量とする流水幅になったとの考えのもとに河幅の検討を行う。谷底平野においては、河道が大きく蛇行している区間や河道から氾濫した洪水流が河道をショートカットするよ

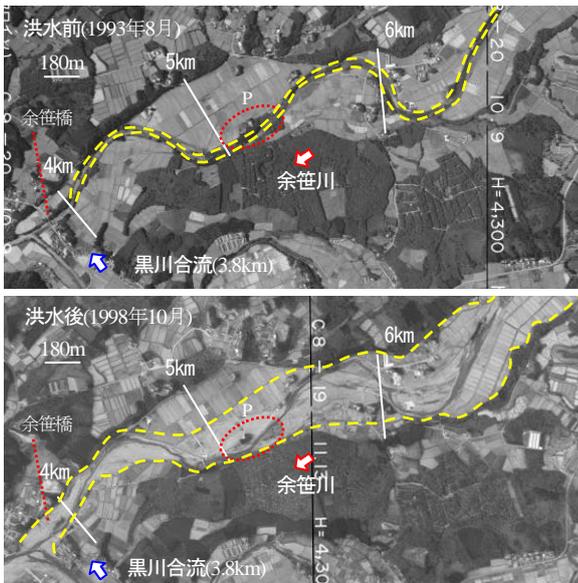


写真-1 4km～6km付近における  
洪水前後の航空写真の比較

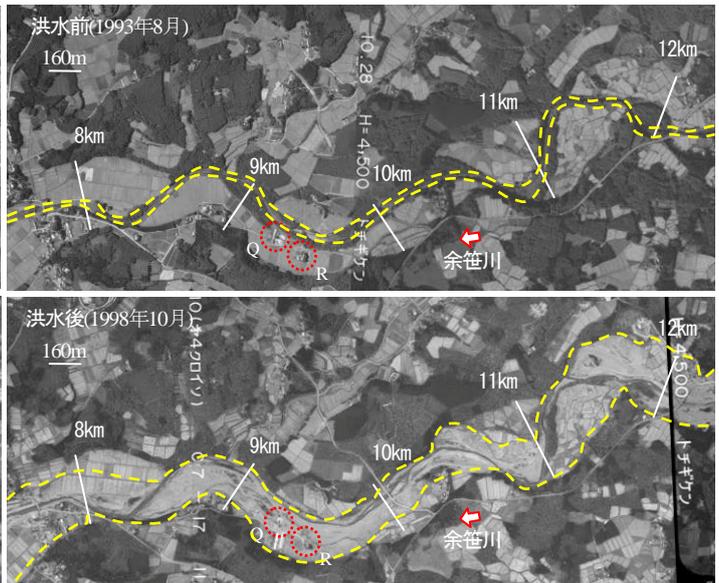


写真-3 8km～12km付近における  
洪水前後の航空写真の比較

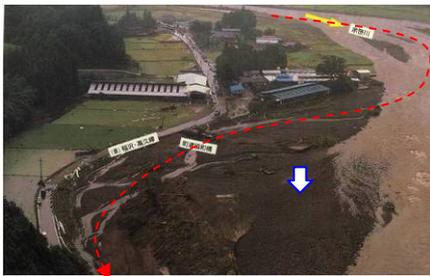


写真-2 6km付近の洪水流の様子

うな流路を形成するなど複雑な流れが生じるため、これらを考慮した河幅の検討が災害後の河道改修を実行する上で必要である。

本研究では、余笹川で発生した1998年8月洪水を対象に平面二次元洪水流解析を適用し、氾濫域での洪水流況から河道形成流量が流下したと見なせる流水幅の評価方法を検討する。そして、谷底平野を流下する河川での大きな洪水外力に対する適切な河幅の決定方法を明らかにすることを目的とする。

## 2. 余笹川1998年8月洪水の概要

写真-1は、余笹川の本川である那珂川との合流点から上流の3.8km～7.0km付近の洪水前後の航空写真を示す。上段は洪水前（1993年8月）、下段は洪水後（1998年10月）の写真である。写真内の黄色線は、航空写真から判読した洪水前の河道法線及び洪水時の実績の水際線を表している。災害前の河道幅はおよそ20m～30mであり、河道は谷底平野全体にわたり大きく蛇行しながら流下していた。洪水後の航空写真から、4.5km及び6.0km上下流において洪水流が河道から氾濫原に乗り越え新流路を形成し、水面幅が数倍広がっている様子が分かる。6.0km付近右岸側の洪水時の様子を示したのが写真-2である。

赤い点線は洪水前の河道中心線であり、洪水流が河道をショートカットした流路において一部建物を流出させた。5.3km（P地点）においては、洪水前は河岸沿いに建物や樹木が存在していたが、氾濫した洪水流によってほとんど流出している様子が分かる。

写真-3は8.0km～12.0km付近の洪水前後の航空写真である。この区間においても洪水後の河道は大きく流路を変えていることが分かる。湾曲部外岸に位置する10.3km及び11.5km付近では、河道を乗り越えた洪水流により右岸側氾濫域で洗掘、樹木の流出が生じた。また、9.0km付近左岸側及び10.5km～12.0kmにかけて、洪水前は河道沿いに樹木が密に繁茂していた様子が分かる。しかし、洪水後においてはほとんどの樹木が流出している。9.5km外岸側では一部の樹木は流出せず、これら樹木の背後に位置していた住宅（R地点）では浸水はしたものの流出を免れた場所もあったが、河道沿いの建物は流出した（Q地点）。以上のように、余笹川で発生した1998年8月洪水は、河道から氾濫した洪水流が谷底平野一面に拡がり、河岸浸食、新流路の形成等により洪水前後で河道の平面形状を大きく変化させた。

## 3. 平面二次元洪水流解析

### (1) 解析条件と解析地形

谷底平野における洪水氾濫では、氾濫域での水深が浅く、流速の小さい場所が多くある。痕跡水位と横断面からでは氾濫域での流速や水深分布が分からず、これらを明らかにし、河道断面形状を規定する河道形成流量が流下したと見なせる流水幅（河幅）を検討するために洪水流解析を行った。解析では、洪水ピーク流量流下時において洪水後の地形が形成され、洪水ピーク時に痕跡水位

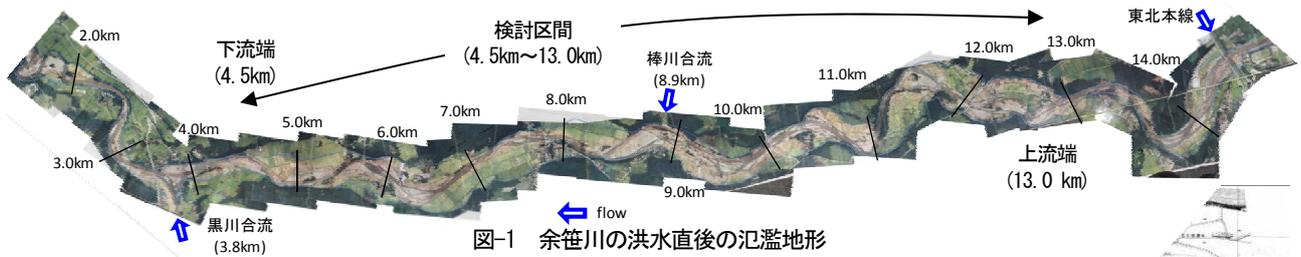


図-1 余笹川の洪水直後の氾濫地形

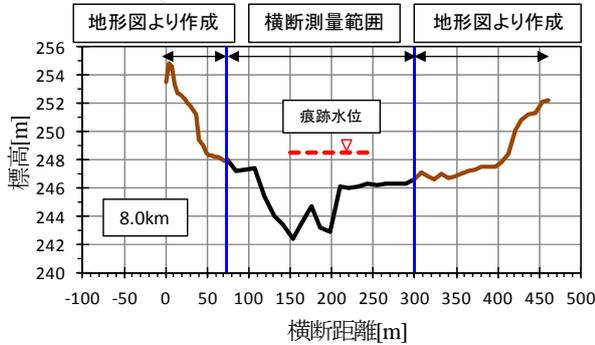


図-2 余笹川における河床地形

が付いたと考え、洪水ピーク流量を洪水後の地形に対して一定流量として与えた固定床の平面二次元洪水解析を適用した。余笹川の検討対象区間は、図-1に示す洪水流が河道から氾濫し大きく広がった4.5km～13.0km区間とした。境界条件は上流端に洪水ピーク流量、下流端に痕跡水位を与えた。流量は、実績洪水時の流域内及び近傍の各雨量観測所データを基に貯留関数法によって推定されたピーク流量<sup>5)</sup>1740m<sup>3</sup>/sを用いる。これは対象区間の災害前の平均的な流下能力<sup>5)</sup>400m<sup>3</sup>/sに対して遥かに大きい流量であった。洪水直後には栃木県によって100m間隔で横断測量及び痕跡水位の測量が行われた。しかし、測量された横断面形状は、図-2の黒線で示すように河道とその周辺部のみであり、洪水時の水面幅の検討精度が低かった。そこで、氾濫域を含めた谷底平野全体の地形を作成するために、河道改修等の工事を行う場合に用いられる図-3に示す平面図を活用した。余笹川では、1969年3月に縮尺1/1000の平面図が作成されており、平面図内には、10cm間隔の点標高及び等高線が1m間隔で示されている。対象区間の氾濫域は1955年頃からすでに水田としての利用がほぼ変わりなく続けられてきており<sup>6)</sup>、氾濫域の地形は1998年と1969年の間で大きく変化していないと考えられる。これらの標高データをもとに、図-2の茶色で示す氾濫域の地形を作成し、これを解析地形として用いた。洪水後においては粒径が100cmから400cm近い巨大礫が河床に点在していたと報告されており<sup>7)</sup>、粗度係数は、痕跡水位及び実績氾濫域を概ね再現するよう河道内を0.049、氾濫域を0.054とした。

## (2) 解析結果

図-4の上段に4.5km～9.0km区間、下段に9.0km～13.0km区間の解析水位と痕跡水位の縦断図を示す。解析水位は左右岸どちらかの最大水位をプロットしている。



図-3 地形作成に用いた1/1000平面図

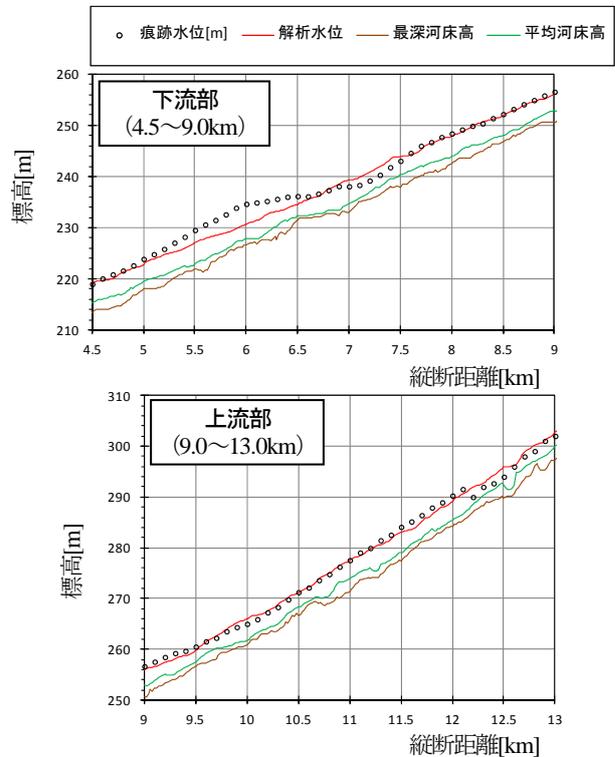


図-4 解析水位と痕跡水位の比較

解析水位は概ね痕跡水位を捉えているが、5.0km～6.5km区間において解析水位と痕跡水位が最大で4mほど大きくずれている。図-5は5.9km、10.5km地点の横断図を示す。ここで、黄色のプロットの実績氾濫域とは洪水前後に撮影された航空写真の比較から土砂堆積が生じた場所や洗掘された場所、水田の変色度合い等、洪水時に浸水したと考えられる場所である。解析水位が痕跡水位を捉えている10.5km地点においては、痕跡水位と実績氾濫域の高さも概ね対応している。一方、5.9km地点においては、図-6に示すように解析で求められた水際線と実績氾濫域は概ね一致しているが、痕跡水位は実績氾濫域の高さと大きく異なっている。仮に痕跡水位まで水位が到達していたとすると、実績氾濫域はさらに大きく広がるこ

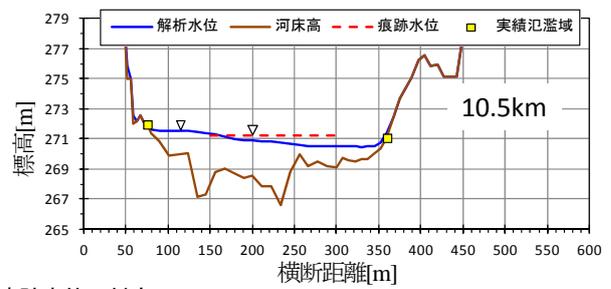
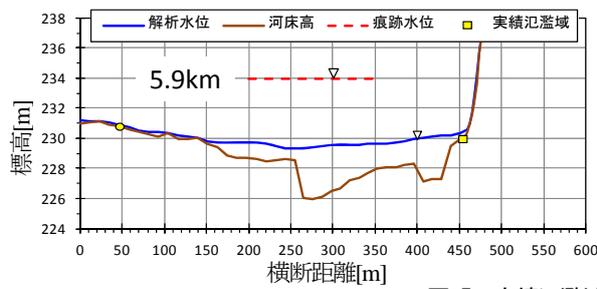


図-5 実績氾濫域と痕跡水位の対応

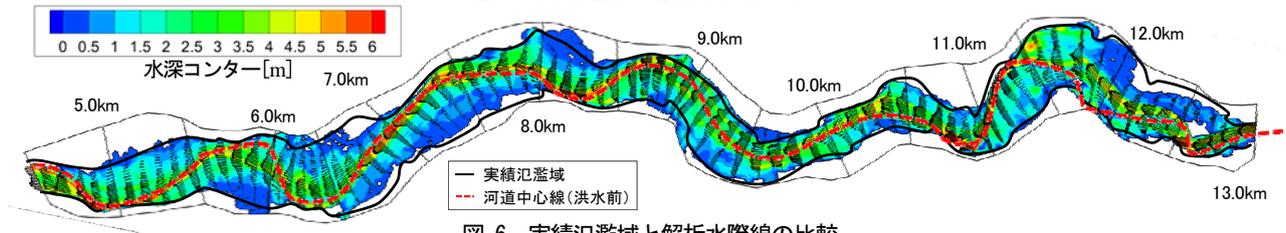
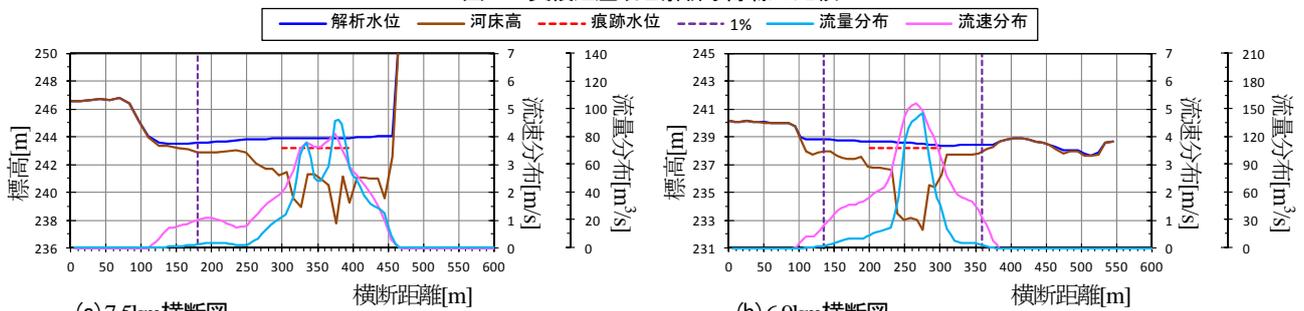


図-6 実績氾濫域と解析水際線の比較



(a) 7.5km横断面図

(b) 6.9km横断面図

図-7 直線部及び湾曲部での水面幅の評価方法

とになるため、5.0km～6.5km区間においては痕跡水位の測定値に問題があると判断した。図-6に実績氾濫域と解析水際線の比較を示す。6.9km及び12.2km付近の右岸側において実績氾濫域を再現できていない区間もあるが、解析水際線は概ね実績氾濫域と一致している。

図中の赤点線は洪水前の河道中心線、ベクトルは水深平均流速ベクトルを示している。5.0km、6.0km、8.5km、11.5km上下流等の湾曲部において、赤点線の洪水前の河道法線と各断面の最大流速ベクトルが一致しておらず、洪水が河道をショートカットする流れとなっており、洪水が谷底平野全体にわたり流下していた様子が分かる。また、主流部においては縦断的におよそ3m/s～5m/sの高流速が算出された。一方、5.3km左岸、7.5km左岸、12.0km右岸の氾濫域では、水面は広がっているが、水際付近の水深は約0.3m前後であり、流速も0.5m/s以下である。これは、主流部に比べて水深は浅く、流速も小さい。そのため、これらの地点の水際では、洪水ピーク時においても河岸浸食や洗掘等を引き起こす流れとはなっていないと考えられ、河道形成流量によって決まる流水幅（河幅）には含まれない領域と考えられる。

#### 4. 余笹川1998年8月洪水時の河幅

得られた解析結果をもとに、1998年洪水の河道形成流量に対する必要な流水幅を検討する。水際で河岸浸食や

洗掘等を引き起こす程度の流れと見なせる流水幅の判断として、水深や流速が考えられる。しかし、氾濫域が大きく広がっている断面や地形の影響で狭く単断面に近い場所もあり、水深や流速にしきい値を設けて検討することは、断面毎に河道形成流量が異なってしまうため妥当ではない。そのため、流水幅の検討方法として、各断面の水深と流速分布をもとに流量分布を計算し、図-7(a)に示す7.5km断面のような湾曲部では、内岸から流量を積分し、図-7(b)に示す6.9km断面のような直線部では左右岸から流量を積分していき、あるパーセントに応じた流量となる時の幅を差し引いて流水幅を検討した。

図-8は、各横断面において洪水ピーク流量の99%、97%流量流下時の水際線を示す。図-9はそのときの水面幅の縦断図である。実際の洪水時においては、図-9の青線から湾曲部に位置する6.0km、9.3km、12.0km付近で400m前後まで水面幅が広がっている。紫線はピーク流量のおよそ99%が流れていた水面幅である。10.0km付近では他の区間に比べて左右に台地が迫っており、単断面的河道となっているため水面幅の変化は小さい。一方、図-8から6.0km及び7.5km湾曲部を含む5.0km～9.0km区間や12.0km付近において、ピーク流量の99%流量の流水幅は実績水面幅より大幅に狭まっており、氾濫域の大部分では洪水流がほとんど流れていなかったことが分かる。また、99%流量の流水幅は実績水面幅に比べてばらつきが小さくなっており、概ね200m前後である。図-9の赤

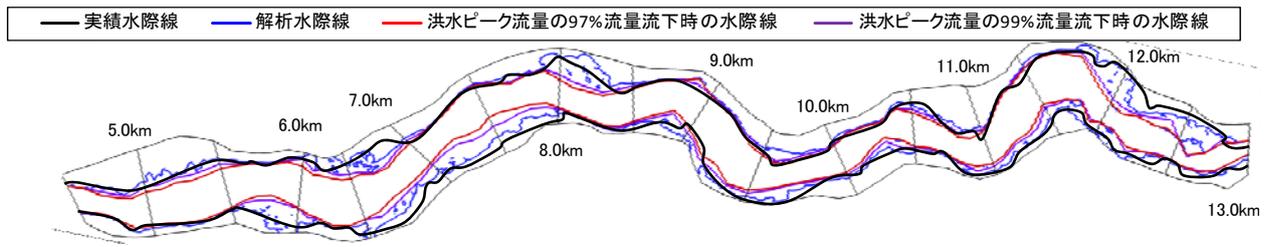


図-8 洪水ピーク流量の97%, 99%流量流下時の水際線

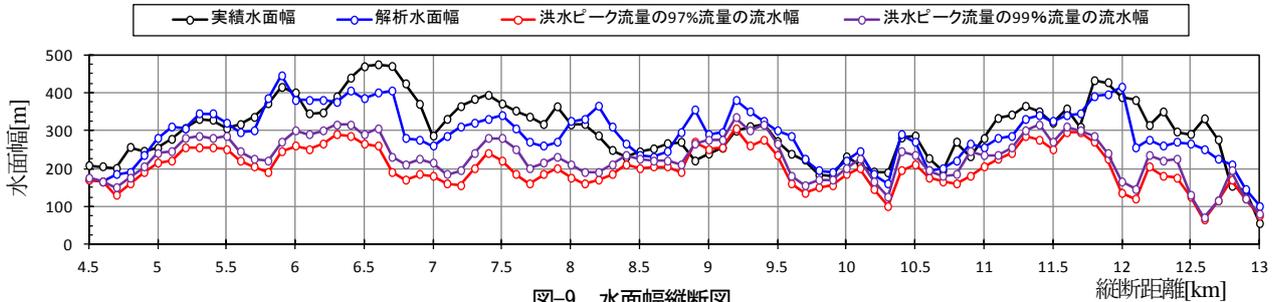


図-9 水面幅縦断面

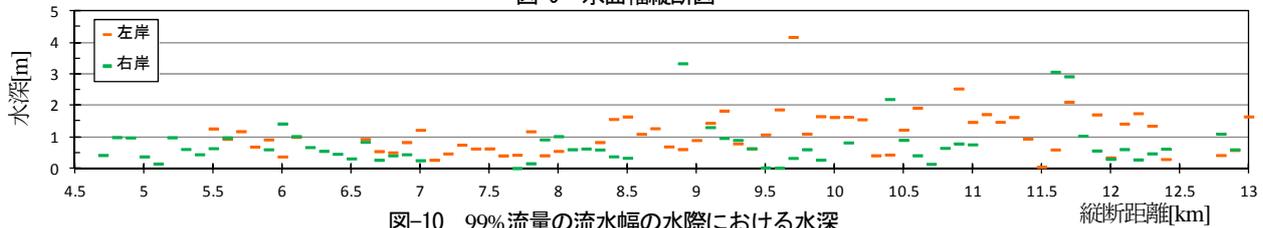


図-10 99%流量の流水幅の水際における水深

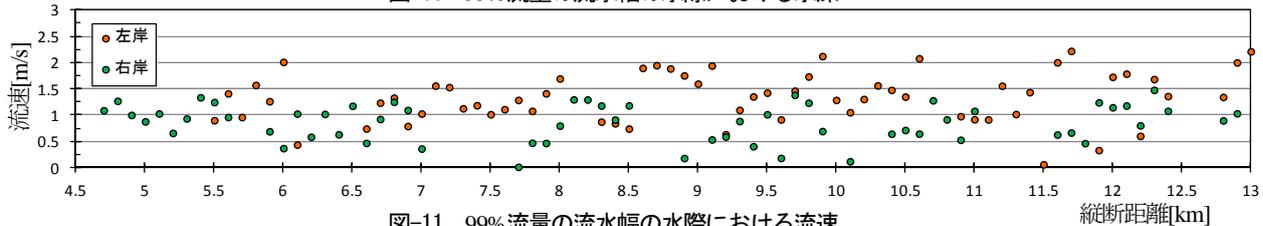


図-11 99%流量の流水幅の水際における流速

線はピーク流量の97%流量の流水幅である。97%流量での流水幅と99%流量の流水幅では縦断的にほぼ変化していないことが分かる。また、図-10, 11は、99%流量流下時の水際での水深と流速の縦断面図である。プロットする際は湾曲部外岸側の場所は除いている。図より水際での流速は1.0m/s前後、そのときの水深も1m前後であることから、水際で河岸侵食や洗掘を生じさせる程度の流れが生じていると考えられる。そのため、99%流量流下時程度の流水幅が1998年洪水流量を河道形成流量とする河幅であると考え、次節で無次元流量に対する無次元河幅について検討する。

## 5. 余笹川における無次元流量に対する無次元河幅、無次元水深の関係

福岡は、沖積地河川では無次元河道形成流量によって無次元河幅、無次元水深が規定されるという考え方で<sup>8)</sup>、無次元流量に対し無次元河幅と無次元水深のとり望ましい範囲として式(1)、(2)を導いている<sup>9)</sup>。

$$2.80 \left( \frac{Q}{\sqrt{g I d_r^5}} \right)^{0.40} \leq \frac{B}{d_r} \leq 6.33 \left( \frac{Q}{\sqrt{g I d_r^5}} \right)^{0.40} \quad (1)$$

$$\frac{h}{d_r} \leq 0.14 \left( \frac{Q}{\sqrt{g I d_r^5}} \right)^{0.38} \quad (2)$$

ここに、 $Q$ ：河道形成流量、 $B$ ：河幅、 $h$ ：水深、 $I$ ：勾配、 $d_r$ ：代表粒径( $=d_{60}$ )、 $g$ ：重力加速度である。なお、無次元水深に関しては、無次元河幅を満足する状況では水深が小さくても洪水ピーク流量を流すことが出来るのであれば問題はないと考え無次元水深の下限を設定していない。

図-12に、洪水ピーク流量の99%流量流下時の流水幅での無次元流量に対する無次元河幅、無次元水深の関係を示す。検討データは4.5km~13.0kmの100m間隔の86断面のデータである。検討に用いた諸元は、流量 $Q$ 及び断面平均水深 $h$ は流水幅 $B$ に対応するものである。勾配 $I$ にはエネルギー勾配 $I_e$ を用い、河床の代表粒径は河川環境管理財団河川環境総合研究所<sup>7)</sup>によって2000年に測られた河床表層の粒度分布の60%粒径 $d_{60}$ (20cm)とした。青色のプロットは、13.0km、10.0km、4.5km付近の左右岸に台地が迫っている断面である。地形の影響を受け河幅が広がれないため、無次元河幅は下側にプロットされる。黄色のプロットは9.0km、11km付近の実績水面幅と99%流量流下時の流水幅でほとんど差のない断面、すなわち、

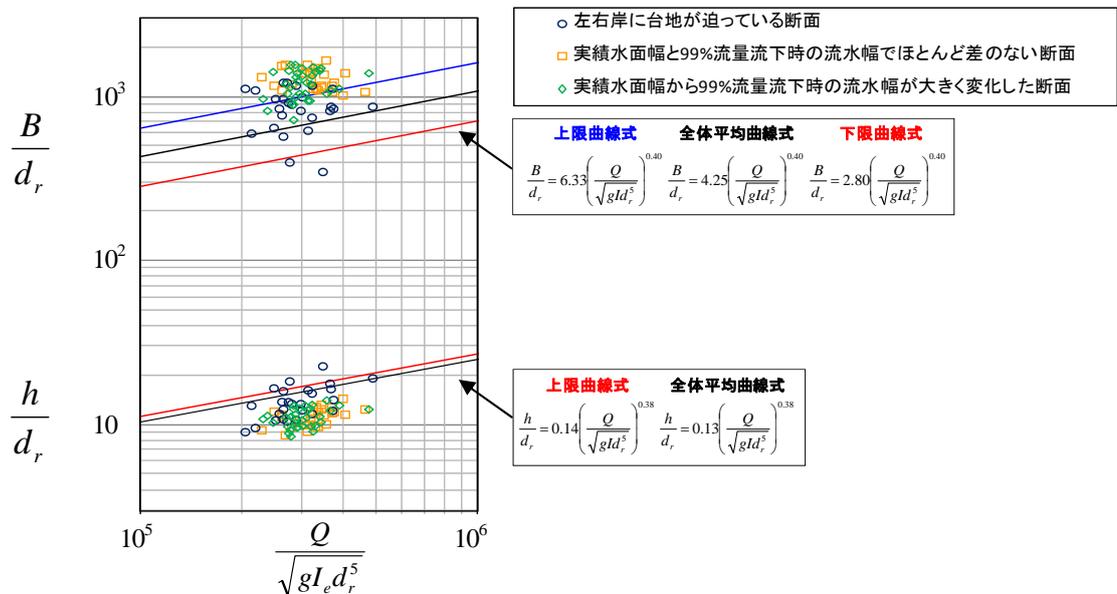


図-12 洪水ピーク流量の99%流量流下時の流水幅における無次元流量に対する無次元河幅、無次元水深の関係

単断面的な河道である。余笹川1998年洪水が、現在の谷幅を規定した過去の大洪水よりも規模の小さな洪水であるため、河幅 $B$ がほぼ同じでも流量 $Q$ が小さいため上側にプロットされる。緑色のプロットは6.0km～8.0km付近及び12km付近の実績水面幅から99%流量流下時の流水幅が大きく変化した断面である。河岸浸食や洗掘等を引き起こす程度の流水幅を検討することによって、黄色プロットと同程度の無次元河幅になっている。全体的には谷底平野の谷幅や河岸段丘等の地形の影響を受けることで縦断的にばらつきがあるものの上限式程度となっている。このように、山間部の狭長な谷間に形成される谷底平野においても、1998年の大洪水時の無次元河道形成流量が流れたと見なせる無次元河幅は下流に位置する沖積地河道と同様の関係性があると見なすことが出来、谷底平野を流れる河川の河道改修にあたっては、式(1)、(2)の関係を用いて検討することが可能である。

大洪水が発生した場合には、図-12のプロット程度の無次元河幅となることから、特に防護が必要な区域には水面が広がらないように、図-8の紫線に沿って対策を施すこと等で浸水被害を抑えることが可能と考えられる。

## 6. 結論

本研究の主要な結論を示す。

- 1) 基礎データの少ない中小河川において、河川工事等で用いられる1/1000平面図を活用することで複雑な地形場を再現し、これを用いた洪水流解析を行うことが出来る。
- 2) 余笹川1998年8月洪水を河道形成流量とした河幅を検討した。河岸浸食や洗掘等を引き起こす程度の流水幅を検討し、ピーク流量の99%が流下した流水

幅程度が必要な河幅であることを示した。

- 3) 余笹川における無次元流量に対する無次元河幅、無次元水深の検討から、山間部の狭長な谷間に形成される谷底平野においても、下流の沖積地河川の無次元河道形成流量で決まる無次元河幅、無次元水深の関係が成立することを示した。

謝辞：本研究では、栃木県から貴重な資料を提供していただいた。記して謝意を表する。

## 参考文献

- 1) 伊藤和典, 須賀堯三, 池田裕一：余笹川にみる低頻度大洪水による横浸食性河道変化の実態とその考察, 水工学論文集, 第45巻, pp. 781-786, 2001.
- 2) 中川一, 高橋保, 里深好文：1998年洪水による那珂川水系余笹川の河道変動について, 水工学論文集, 第44巻, pp. 395-400, 2000.
- 3) 久保雄生, 福岡捷二：谷底平野を流下する河道の洪水災害と適切な河幅に関する研究, 第66回年次学術講演会講演概要集, pp. 223-224, 2011.
- 4) 町田貞, 井口正男, 貝塚爽平, 佐藤正, 榎根勇・小野有五編：地形学辞典, 二宮書店, 1981.
- 5) 栃木県：一級河川那珂川水系余笹川災害復旧事業計画書（一定災）, 1999.
- 6) 佐藤照子：1998年8月那珂川水害の被害と土地環境, 防災科学技術研究所, 主要災害調査第37号, pp. 137-216, 2001.
- 7) (財)河川環境管理財団河川環境総合研究所：大規模災害の復旧工事後の河道・環境特性の変化—余笹川の事例—, 河川環境総合研究所資料第27号, 2009.
- 8) 福岡捷二：招待論文, 温暖化に対する河川の適用技術のあり方—治水と環境の調和した多自然川づくりの普遍化に向けて, 土木学会論文集, F. Vol. 66 No. 4, pp. 471-489, 2010.
- 9) 福岡捷二, 坂口達哉：無次元流量に対する無次元河幅・水深のとの範囲と整備途上河川への適用, 水工学論文集, 第56巻, pp.I-1423-I1428, 2012.

(2012. 9. 30受付)