

谷底平野を流れる河川の洪水時の流水幅と谷幅を形成する極値流量の推算

ESTIMATION OF FLOOD FLOW WIDTH AND THE PAST EXTREAME DISCHARGE IN VELLE Y BOTTOM PLAIN

土木工学専攻 17号 坂口達哉

Tatsuya SAKAGUCHI

1. はじめに

近年、大規模で高強度の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平野の谷底平野において、大規模豪雨に起因する氾濫流が甚大な被害をもたらしている。これらの代表的なものに栃木県の余笹川 1998 年 8 月洪水、北海道日高地方の厚別川 2003 年 8 月洪水、北海道十勝地方の音更川 2011 年 9 月洪水がある。これらの河川では、河道の流下能力を大きく上回る洪水が発生し、河岸浸食や土砂堆積、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。しかし、谷底平野を流れる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。久保ら¹⁾は、余笹川、厚別川の洪水を対象に、沖積地河川の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、洪水時の水面幅を河道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水面幅の評価方法について十分検討できなかった。谷底平野の成因については、過去に極めて大規模な歴史的洪水が発生し、これを谷幅形成流量として谷底地形が形成され、現在の谷幅が形成されたと考えられる。その後、長年にわたる幾多の大洪水とそれに伴う土砂流出によって谷幅は変わらなくても、谷底及びそこを流れる河川の流路や形状が変化してきたと考えられる。今日の谷底平野内の蛇行流路は、この地に人が住み着いてから河道改修

によって造られて来たものと考えられる。本研究が対象とする余笹川 1998 年、厚別川 2003 年の大洪水はそれが発生する以前の河道に対しては、十分大きな洪水であったために、大規模な流路浸食や洗掘等が引き起こされた。すなわち、これらの流量を河道形成流量とする流水幅となって流れたと考えられ、この考えのもとに河幅の検討を行う。また、谷底平野で氾濫流が発生すると、河道が大きく蛇行している区間や水深が極めて浅く、流速が小さくなる場所がある。さらに、氾濫流が河道を短絡し、新しい流路を形成するような複雑な流れが生じるため、これらの状況を適切に考慮した流水幅の検討が必要である。

本研究では、最初に、余笹川及び厚別川で発生した洪水後の河道形状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を検討し、谷底平野河川での大洪水時の河幅を明らかにする。次に、余笹川、厚別川の河幅の算定結果を用いて、両河川が流れる谷底平野の谷幅を形成したと考えられるこの流域で過去に発生した極値洪水流量の推定を行う。

2. 平面二次元洪水流解析

(1) 解析条件と解析地形

谷底平野で氾濫した洪水流は、その広がり外縁の水深が浅く、流速の小さい場所が多く生じる。したがって、河道断面図と痕跡水位からでは氾濫域の流速分布や水深分布が分からない。これらを明らかにし、実際に流路形状を規定した流量が流下したと見なせる流水幅（河幅）を明らか

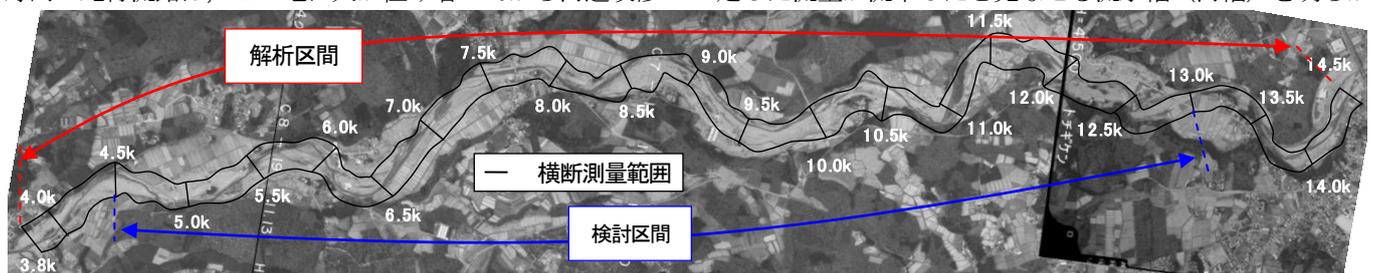


図-1 余笹川における検討区間と横断測量範囲

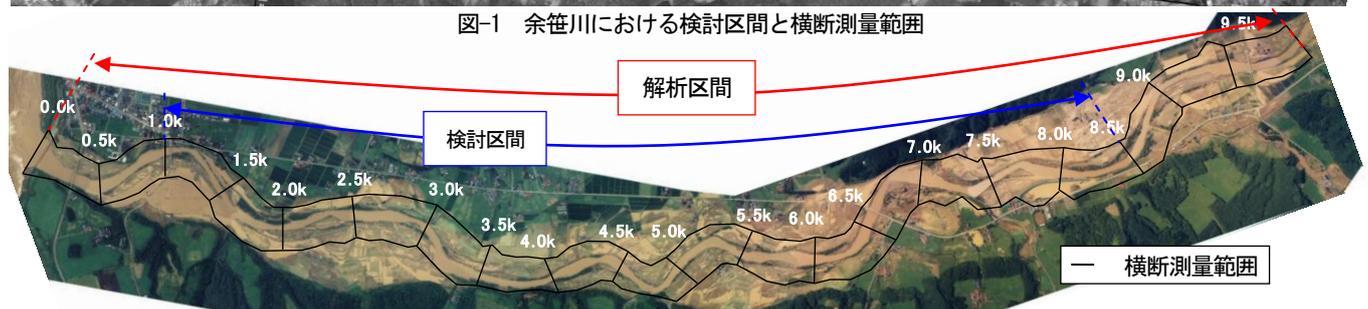


図-2 厚別川における検討区間と横断測量範囲

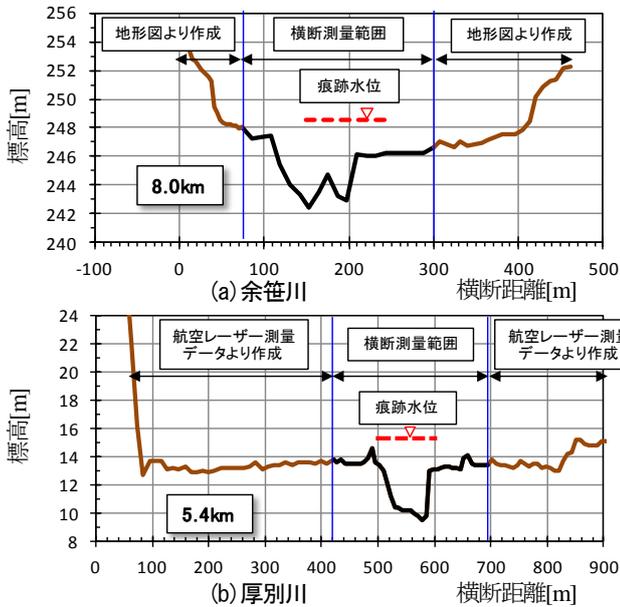


図-3 余笹川、厚別川における河床地形

にすることが、その後の河道改修の検討にあたって重要である。このための解析方法を見出すことを目的として洪水解析を行う。解析では、洪水ピーク流量流下時に洪水後に観測された地形が形成され、痕跡水位が付いたと考え、洪水後の地形に対して洪水ピーク流量を与えた平面二次元洪水解析を適用した。検討区間は、図-1 に示す余笹川 4.5km～13.0km 区間、図-2 に示す厚別川 1.0km～8.5km 区間である。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流出解析によって推定された洪水ピーク流量を用いる（余笹川 $1740\text{m}^3/\text{s}^2$ 、厚別川 $2884\text{m}^3/\text{s}^3$ ）。両河川では、洪水直後に 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、横断面形状の測量範囲は、図-1、図-2 の黒線で示す河道とその周辺部のみで、氾濫流が生じた全断面について測量が行われず、解析を行うには不十分であった。そこで、氾濫域を含めた谷底平野の地形を作成するために、余笹川では 1/1000 平面図（1969 年測量）、厚別川では航空レーザー測量データ（2006 年測量）を用い求めた。1/1000 平面図内には、点標高及び等高線がそれぞれ 0.1m 間隔、1.0m 間隔で示されており、航空レーザー測量では 0.01m 間隔で標高値が測られている。これらの標高データをもとに、図-3 の茶色で示す氾濫域の地形を作成し、解析のための地形として用いた。粗度係数は、この断面形と流量に対して痕跡水位及び実績氾濫域を概ね再現するように余笹川及び厚別川でそれぞれ河道内を 0.049, 0.030, 氾濫域を 0.054, 0.040 とした。

(2) 解析結果

図-4 (a), (b) に余笹川及び厚別川の解析水位と痕跡水位の比較を示す。両河川の解析水位は概ね痕跡水位を捉えているが、余笹川 5.0km～6.5km 区間においては解析水位と痕跡水位が最大で 4m ほどずれている。しかし、図-5 に示す

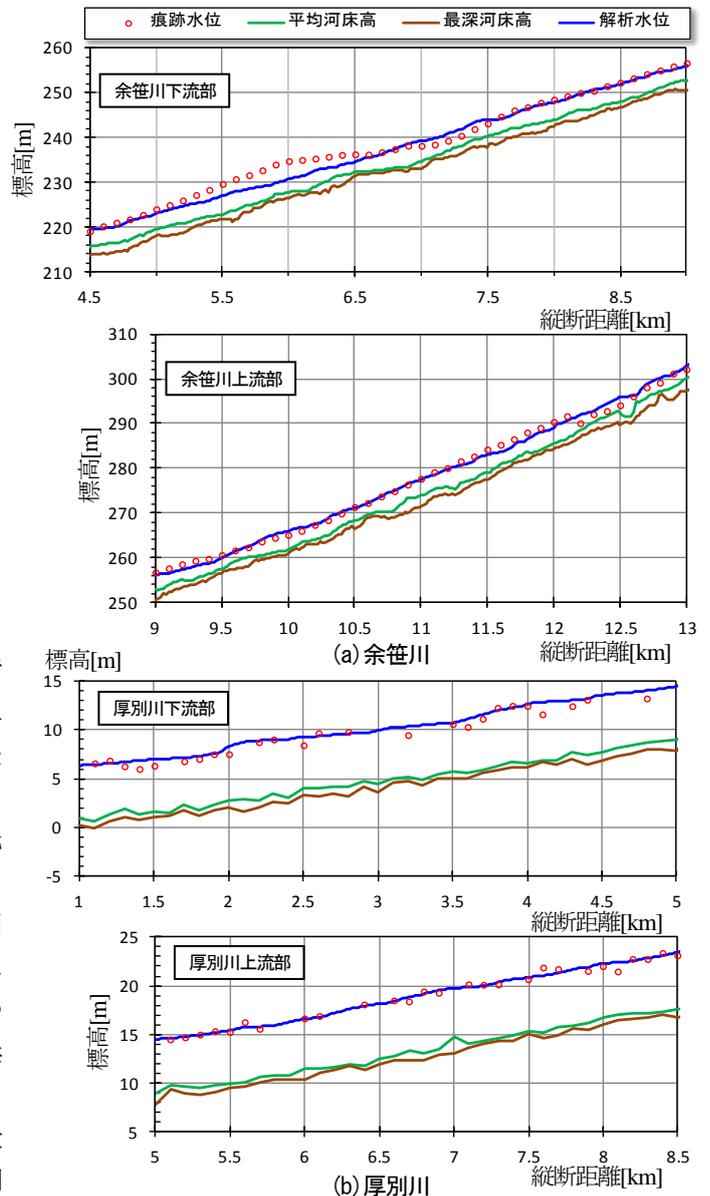


図-4 余笹川、厚別川における解析水位と痕跡水位の比較

解析水際線は実績水際線を概ね説明しており、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とになるため、5.0km～6.5km 区間の痕跡水位の測定値には問題があると判断した。

図-5 のベクトルは水深平均流速ベクトルを示している。湾曲部では洪水前の河道法線と各断面の最大流速ベクトルが一致せず、洪水が河道を短絡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と考えられる。また、余笹川及び厚別川ともに主流部において縦断的におよそ $3\text{m/s} \sim 5\text{m/s}$ の高流速が算出された。一方、余笹川 5.3km 左岸、7.5km 左岸、12.0km 右岸、厚別川 7.0～8.0km 左岸の氾濫域では、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付近では、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ような流れは生じていず、これらの領域は河道形成流量によって決まる流水幅（河幅）には含

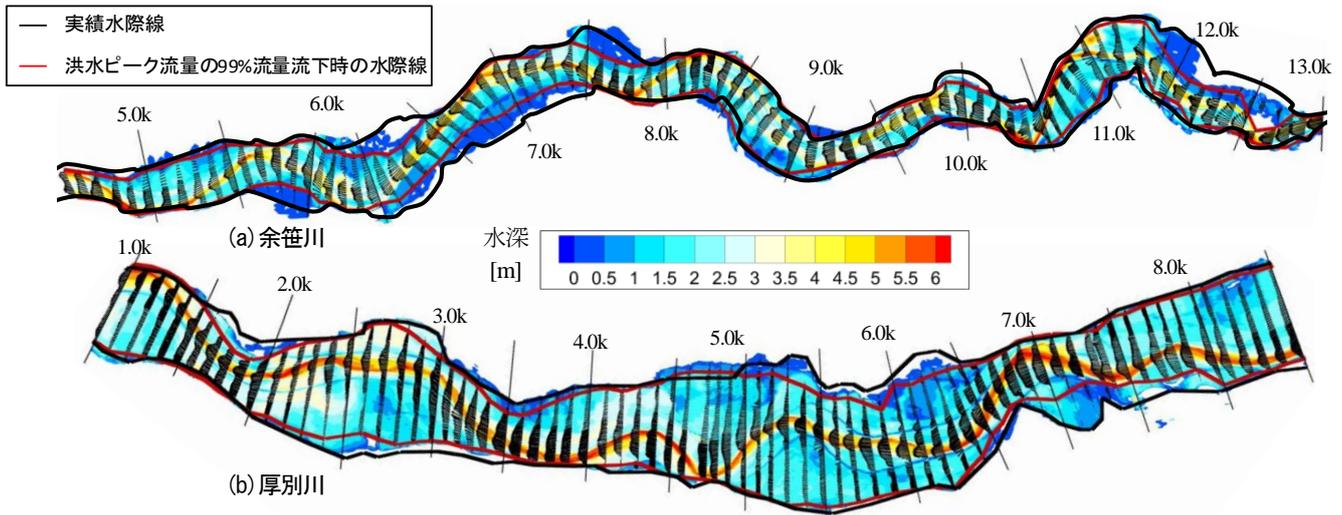


図-5 余笹川，厚別川における実績水際線と解析水際線及び洪水ピーク流量の99%流量流下時の水際線の比較

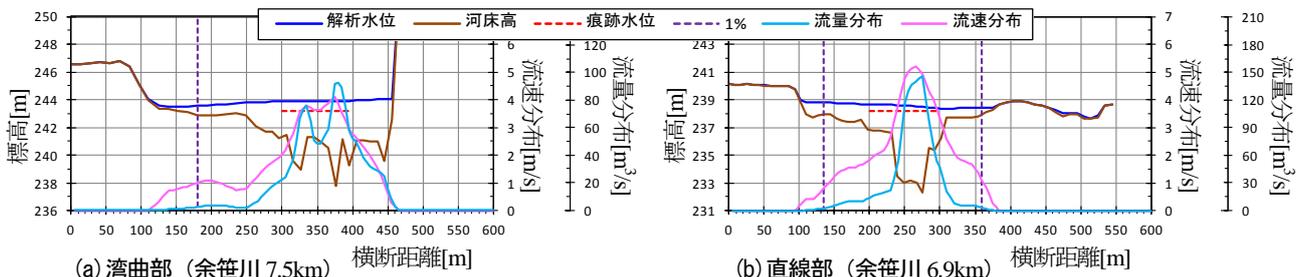


図-6 直線部及び湾曲部での流水幅の評価方法

まれないとして除外した。

3. 余笹川及び厚別川における洪水時の流水幅

得られた解析結果をもとに，余笹川と厚別川で生じた洪水のピーク流量を河道形成流量とする流水幅を検討する。水際で河岸侵食や河床洗掘を引き起こす流れと見なせる流水幅の判断指標は，前述のように水深や流速である。しかし，地形の平面形状により洪水流が氾濫域に大きく広がった断面や兩岸台地の幅が狭まっている単断面的な区間もあり，水深や流速に閾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適切ではない。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-6(a)に示す湾曲部では，内岸から単位幅あたりの流量を積分し，図-6(b)に示す直線部では左右岸から単位幅あたりの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とき幅を差し引いて流水幅を検討した。図-5の赤線は，洪水ピーク流量の1%流量となるとき幅を差し引いた水際線である（そのときの流水幅を B_{99} とする）。図-5(a)に示す余笹川では，10.0km 付近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であることから，水面幅の変化は小さい。一方，5.0km～9.0km 区間や 12.0km 付近において，流水幅 B_{99} 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。図-5(b)に示す厚別川では，7.0～8.0km 左岸付近において流水幅 B_{99} は実績水面幅から大きく変化しているが，その他区間において流水幅 B_{99} と実績水面幅との差は小さいことがわかる。これは厚

表-1 厚別川，余笹川の検討データ範囲

河川名	Q [m³/s]	B_{99} [m]	h [m]	I/I_e	d_r [m]
厚別川	2855	237～718	1.6～3.3	125～1430	0.015
余笹川	1723	70～335	1.7～4.6	46～254	0.2

別川 2003 年洪水が実質的にも河道幅全体で流下していたことを表している。次節において求めた流水幅 B_{99} が余笹川 1998 年，厚別川 2003 年洪水流量を河道形成流量とする河幅であると考え，無次元流量に対する無次元流水幅，無次元水深について検討する。

4. 無次元流量と無次元流水幅，無次元水深の関係

図-7に表-1のデータを用いた余笹川，厚別川の無次元河道形成流量に対する無次元流水幅，無次元水深の関係を示す。図中に示す線は福岡⁴⁾によって導かれた線で，式(1)，(2)はそれぞれ沖積地河川における無次元河道形成流量に対する無次元河幅と無次元水深の関係式である。

$$2.80 \left(\frac{Q}{\sqrt{g d_r^5}} \right)^{0.40} \leq \frac{B}{d_r} \leq 6.33 \left(\frac{Q}{\sqrt{g d_r^5}} \right)^{0.40} \quad (1) \quad \frac{h}{d_r} \leq 0.14 \left(\frac{Q}{\sqrt{g d_r^5}} \right)^{0.38} \quad (2)$$

ここで，検討に用いた諸元は， Q ：洪水ピーク流量の99%流量， B ：99%流量流下時の流水幅 B_{99} ， h ：断面平均水深， g ：重力加速度， I ：エネルギー勾配 I_e ， d_r ：代表粒径(d_{60})である。赤プロットは左右岸に山地や段丘が迫っている狭い断面でのプロット値である。地形の影響を受け水面が広がれないため，無次元流水幅は相対的に下側に分布する。緑プロットは実績水面幅と流水幅 B_{99} にほとんど差のない広い断面でのプロット値である。余笹川 1998 年，厚別川 2003 年洪水は谷幅や河岸段丘を造った過去の洪水より十分規模

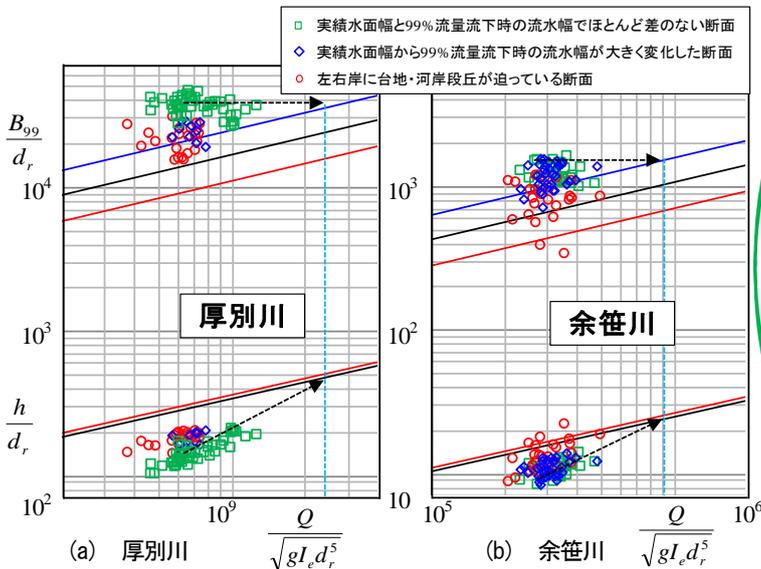


図-7 各河川における無次元流量と無次元流水幅・水深の関係

が小さいと考えられ、河幅がほぼ谷幅一杯で流れても流量が小さいため無次元流水幅は上限式よりも大きい位置にプロットされている。青プロットは実績水面幅から流水幅 B_{99} が大きく変化した断面である。河道形成流量が流れていた流水幅 B_{99} を用いることによって、緑プロットと赤プロットの間程度の無次元流水幅になっている。厚別川と余笹川の両河川では、洪水流が谷幅や河岸段丘等の影響を受けることで、プロット値は縦断的にばらつきがあるものの、全体的に無次元河幅は一般的な沖積地河川の上限式より大きく、無次元水深は下限式より小さくなるという特徴を持つ。

5. 谷底平野における極値洪水流量の推定

谷底平野では、図-8(a)に示すように過去に谷幅や段丘幅を規定した谷幅形成流量が発生した後、幾多の小さな洪水によって谷底に土砂堆積が進行し(図-8(b))、現在の平らで幅広の谷底堆積低地とその中に幅の狭い蛇行河川が形成されたと考えられる。自然の状態では堆積部に徐々に樹木が繁茂し、洪水時の流水幅は小さくなったと考えられるが、谷底平野では狭い堆積低地を農地や牧場等に利用するため平らで幅広の断面形が維持されている。大洪水時には谷幅や段丘幅全体を使って洪水が流下することになる(図-8(c))。そのため、今日の大洪水で見られたように流水幅は大きく、断面平均水深が小さくなり、無次元河幅は上限式より上側に、無次元水深は下限式より下側に分布する。谷幅や河岸段丘幅を規定したような大洪水が再度発生するとき、図-8(c)の河道は、大きな浸食を受け、沖積地河道で導かれた福岡の式と同様の関係性をもって、図-8(a)に示されたように河道が形成されると考えられる。上記の考えのもと、図-7より余笹川及び厚別川の既往最大洪水流量の推算を行う。河床勾配、代表粒径等は大きくは変わらないと考えられることから、流量の増加に伴って断面平均水深が大きくなり、図中の黒矢印のように無次元谷幅形成流量に対して無次元河幅・水深が変化する。緑プロットが福岡の

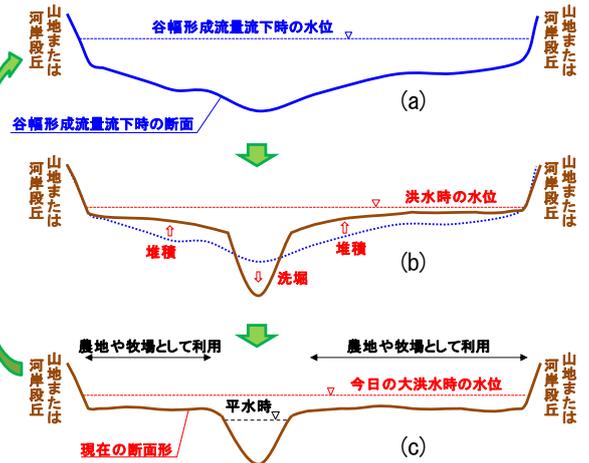


図-8 谷底平野の横断面形状の模式図

式と同程度流量となるときが余笹川、厚別川流域の谷幅や段丘幅を規定する極値流量相当の流量であると考えられる。他の谷底平野においても同様に、谷幅や段丘幅から過去にその流域で発生した極値流量の推算が可能になり、地球温暖化による超過洪水への対応の方向性の議論が可能になると考えられる。

6. まとめ

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、1/1000 平面図や航空レーザー測量データを活用することで複雑な地形場を再現し、これを用いた洪水解析を行うことが出来る。
- 2) 余笹川 1998 年、厚別川 2003 年洪水を河道形成流量とした流水幅を検討し、無次元流量に対する無次元流水幅・水深の関係を検討した。谷底平野の大洪水時には無次元河幅は一般的な沖積地河川の上限式より大きく、無次元水深は下限式より小さくなることを示した。
- 3) 山間部の狭長な谷底平野の谷幅や段丘幅は、過去の大洪水の極値的流量の発生によって形成された沖積地河川であるとの考えのもとに、沖積地河川の無次元河道形成流量に対する無次元河幅・水深の関係性を用いて、谷幅を形成した極値流量の推算を行った。

参考文献

- 1) 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.
- 2) 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.
- 3) 土木学会平成15年台風10号北海道豪雨災害調査団: 日高水害調査団最終報告書, 2004.
- 4) 福岡捷二, 坂口達哉: 無次元流量に対する無次元河幅・水深の範囲と整備途上河川への適用, 水工学論文集, 第56巻, pp.1423-1428, 2012.