

## 第3章 新しい極值的流量の推定方法

第2章において現世における最大洪水流量（極値流量）を復元する研究を整理した。最も古洪水流量を定量的に求めている研究は、slack water deposits（淀み水堆積物）によるものであり、世界各地で復元が行われている。しかし、この方法は乾燥地域で有効な方法と言われており、湿潤地域の我が国においては不向きとされ、ほとんど事例が無いのが現状である。

河川地形に関する既往研究には、河川蛇行の波長と河幅、流量等の間に経験式を定め、その関係式から過去の流量を推定する研究が行われているが、その流量が極値流量に相当しているかどうかは定かではない。本研究は、近年発生した大規模洪水の被災特性からその特徴的な河川地形を読み取り、過去の大規模洪水流量（極値流量）を推定するものである。以下に着目した地形種と極値流量推定までの手順を説明する。

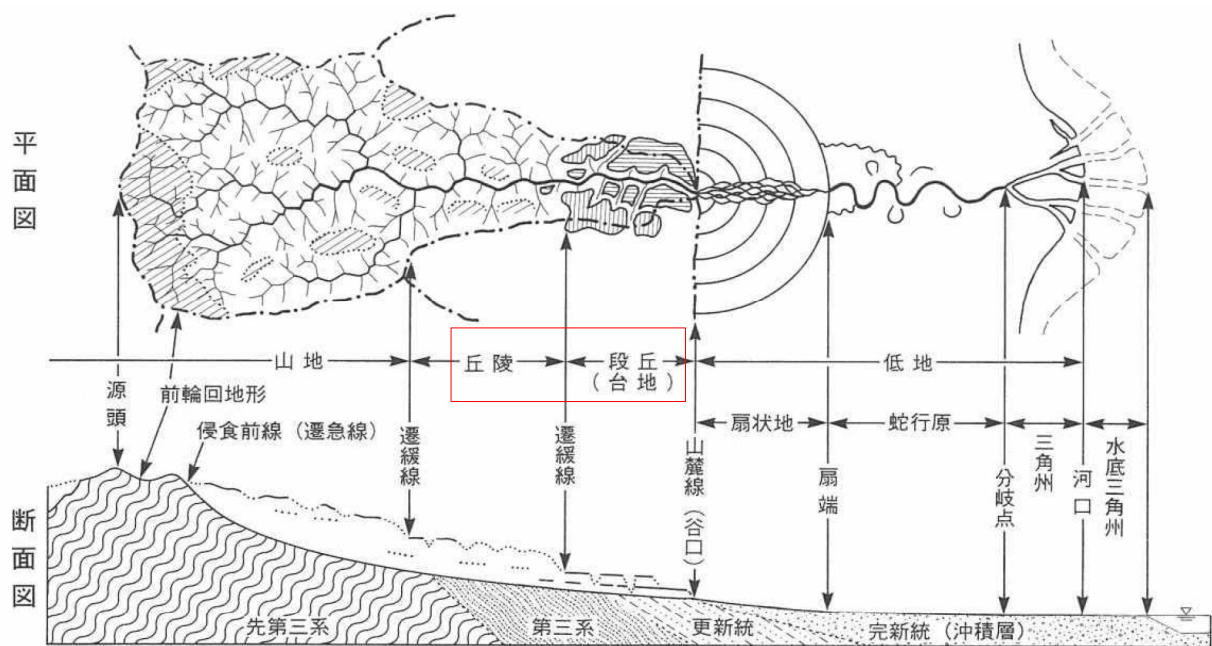
### 3.1 極值的流量の推定において着目する河川地形

日本の河川は、他の国に比べ上流から河口までの長さが短く、流れが急なのが特徴である。これは、日本列島は地殻変動が激しく、急峻な山が多いことに起因する。河川は上流で山地を削り（侵食作用）、削った土砂を下流へと運び（運搬作用）、その土砂を低地や海岸に堆積させて（堆積作用）、様々な河川地形を形成する。この地形の中から極値流量推定に適した地形種を選定する。

#### 3.1.1 着目する地形種

図 3-1-1 に流域を構成する地形の一般的配置と各地区の諸特徴を示す。本研究は、過去の大規模洪水の痕跡として河川地形に着目するものであり、源頭部から河口まで様々な地形種があるなかで、次の理由から丘陵地に形成される谷底低地に着目することとした。

- ① 最上流部の山地は侵食前線により谷壁斜面（山腹斜面）が侵食によりV字谷（図 3-1-2）を形成する。この箇所では、溪岸部・溪床部の侵食により、図 3-1-3 に示すように谷が深くなり谷の規模が徐々に大きくなる傾向にある。したがって、過去の大規模洪水の痕跡が侵食されてしまい残らない可能性が高いことから、この地形場は本研究の対象外とする。ただし、山体が非常に硬質な岩盤で形成され、侵食速度が非常に遅い場合には、前述のSWD（Slackwater deposits）の手法により過去の洪水堆積物が斜面に残っている可能性はある。



地形場	山地・丘陵・(段丘)			低地			海底	
	侵食前線	山麓線	谷口	扇端	流路分岐点	河口		
表層地質	風化岩	岩盤	礫	砂			泥	
複式地形種	前輪回地形	谷壁斜面	谷底低地	扇状地	蛇行原	三角州	水底三角州	
単式地形種	河川敷							
	自然堤防							
その他	後背低地							
	浜提・砂丘							
その他	從順山陵 浅谷	ガリー 崩壊地 地すべり地	崖錐 土石流堆 沖積錐 河岸段丘	扇頂溝 旧流路跡	旧流路跡 河跡湖 河畔砂丘 後背湿地	旧流路跡 潟湖 0m地帯 後背湿地	干潟 澤	
河川	河川密度	大	極大	中	小	中	極小	
	流路形態	直線、蛇行	直線	直線、網状	網状	蛇行	蛇行、直線	直線
	屈曲率	2-1						
特異河川		間欠川		水無川 天井川	湧泉川 天井川	感潮河川 天井川		
主要な地形過程 (堆積を省略)	匍行	匍行 崩落 地すべり 土石流	土石流 氾濫 下刻 側刻	氾濫 洗掘 側刻	氾濫 湛水 (内水) 側刻	氾濫 高潮 湛水 (内水) 地盤沈下		

図 3-1-1 流域を構成する地形の一般的配置と各地区の諸特徴<sup>1)</sup>に加筆



図 3-1-2 一般的なV字谷の鳥瞰図

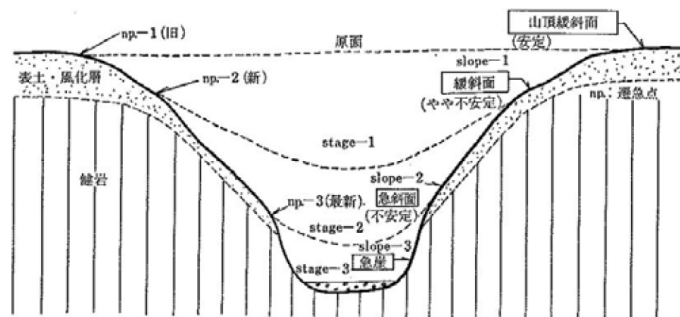


図 3-1-3 V字谷の侵食過程

- ② 谷出口から河口までの低地は、網状流路、蛇行の発達により河道の移動が著しく、旧河道の痕跡が輻輳していることが特徴である。この旧河道跡から過去の洪水を調べる研究は行われている。表層地質をボーリング調査により詳細に調査し、面的に堆積層序を把握することにより旧河道を見つけることは可能である。しかしながら、一般に低地は河口からの距離が近いいため海水準変動の影響を受けやすいため、縄文海進（約 6,000 年前）以降に形成され、海退の影響を受けながら現在に至っていることから、旧河道を把握できたとしてもその当時の洪水流（氾濫流）をモデリングして極値流量まで推定することは難しい。したがって、この地形場は本研究の対象外とする。



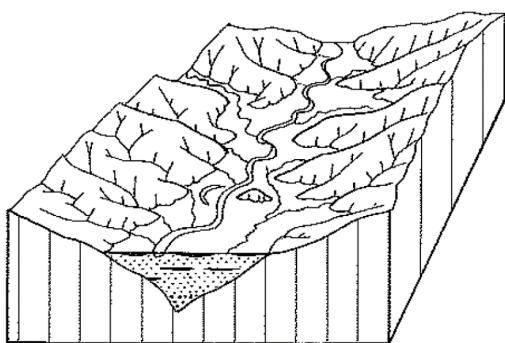
図 3-1-4 低地に形成される旧河道

- ③ 谷底低地（谷底平野）（図 3-1-5）は，両岸に谷壁が形成され，過去の大規模洪水が溢れることなくその痕跡は谷底内に残されている可能性がある．谷底内においても河道は蛇行するものの，その動きは谷壁に規制されることから，河道の変遷は低地に比べて小さいこと，海岸からの距離が比較的離れていることから海水準変動の影響は小さく，極値流量は谷底内を流れるため流れのモデルが低地に比べ構築しやすいことなどの条件は，極値流量を推定する上で好都合である．以上より，本研究における極値流量の推定は，谷底低地に着目することとする．

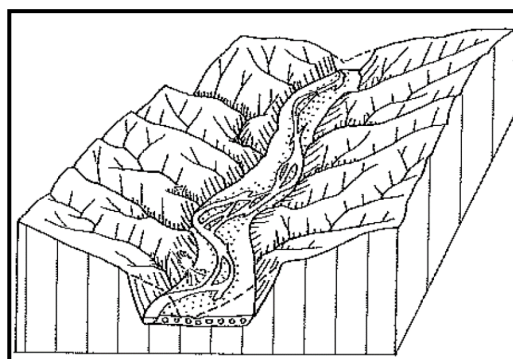


図 3-1-5 谷底低地（谷底平野）の鳥瞰図

- ④ 谷底低地（谷底平野）には，図 3-1-6 に示すように堆積作用が卓越する谷底堆積低地と侵食作用が卓越する谷底侵食低地の 2 種類がある．



谷底堆積低地の概念図



谷底侵食低地の概念図

図 3-1-6 谷底低地の種類（谷底侵食低地と谷底堆積低地の概念図）<sup>1)</sup>

過去の大規模洪水は，谷底幅一杯に流下すると考えられることから，谷底堆積低地における極値流量（現世における既往最大洪水流量）の堆積物は，その後の大規模洪水の堆積物により埋塞されている可能性が高い．一方，谷底侵食低地の場合は，谷底内に残された極値流量の侵食痕跡は，河道が谷壁に規制される中で極値流量以下の規模の洪水では侵食されずに現在も残っている可能性があると考えられる．これより，本研究では谷底侵食低地に着目することとした．

### 3.1.2 谷底侵食低地に着目する地形

1998年（平成10）に栃木県を流れる一級河川那珂川の左支川余笹川において、観測史上最大の降雨により大規模洪水が発生し、谷底幅一杯の流れにより河幅が3～5倍にも拡大する側方侵食の著しい洪水被害となった（写真3-1-1、3-1-2参照）。



写真 3-1-1 1998年8月余笹川流域で発生した洪水による側方侵食<sup>2)</sup>



写真 3-1-2 1998年8月洪水で湾曲部をショートカットして新流路形成状況<sup>3)</sup>  
(太線が被災前流路の中心線)

この洪水の被災状況に関して、詳細な現地調査と様々な研究が行われた（例えば、上野<sup>3)</sup>、伊藤<sup>4)</sup>、中川<sup>5)</sup>、福岡ら<sup>6)</sup>）。これらの調査研究の成果、および現地調査により、既往の大規模洪水流量（極値流量）の痕跡を次のように考えることとした。

谷底侵食低地の谷底横断方向（河川の流れに対して横断方向）の地形を精査すると、1998年豪雨により側方侵食された箇所よりも川から遠ざかる方向に1～2段の段差があり、川から遠ざかるに従い徐々に地盤高が高くなることが分かった。大規模洪水によって、形成される侵食（段差）の痕跡は、洪水の規模によって大きさが異なることが予想される。「段差の高さ」、「段差位置の河幅」などは、洪水の規模に比例して大きくなると考えられる。これより、図3-1-7に示すように高位の段差は、その場で確認できる既往最大洪水流量（極値流量）の痕跡であると考えた。写真3-1-3に段差状況の写真を示す。写真3-1-4は1998年（平成10）の代表的な側方侵食痕である。

過去の大規模洪水により形成されるこの侵食痕は、写真3-1-1、3-1-2、3-1-5の被災状況から図3-1-8に示すように湾曲部内岸側に湾曲部をショートカットするような直線的な侵食崖として残るものと考えた。すなわち、平常時、中小出水時の流れは蛇行流路に沿って湾曲部外岸側に強い流れが生じている。しかし、流路を溢れるような大規模洪水時には湾曲部をショートカットし、直線的な流れへと変わり湾曲部内岸側に強い流れが生じ側方侵食により流路幅が拡大し新流路が形成される。したがって、湾曲部内岸側の高位の段差は、その場における極値流量の痕跡を表すものと考えられる。

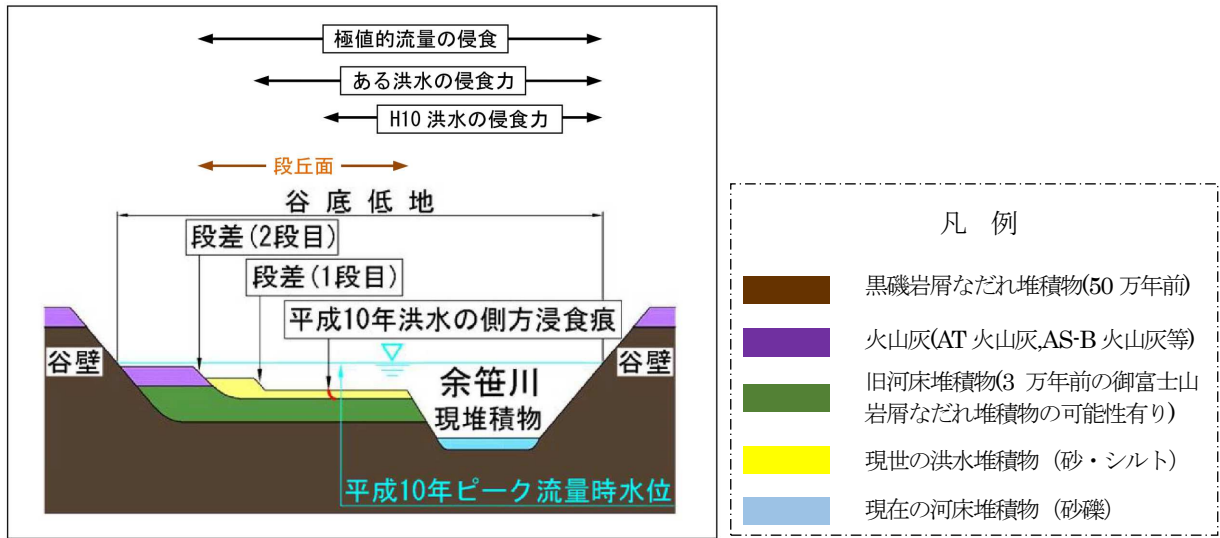


図 3-1-7 本研究の初期段階において想定した谷底侵食低地の横断方向の地質断面模式図

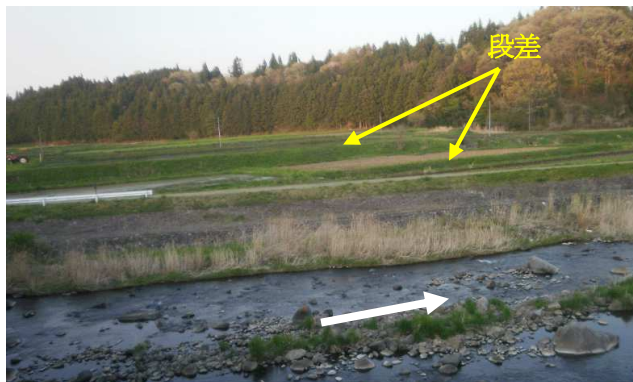


写真 3-1-3 谷底侵食低地の横断方向の段差地形



写真 3-1-4 1998 年（平成 10）洪水の側方侵食痕<sup>14)</sup>



写真 3-1-5 1998 年（平成 10）洪水の侵食状況<sup>2)</sup>

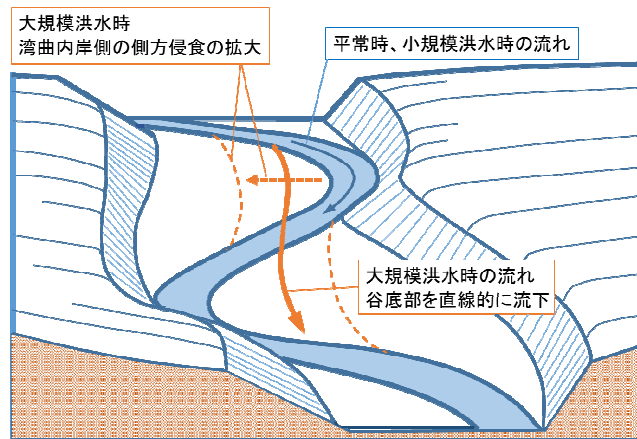


図 3-1-8 大規模洪水時に湾曲部をショートカットし内岸側の側方侵食が拡大する模式図

余笹川の谷底低地の土地利用は、ほとんどが水田であり耕作を行うために平らに整正されている。その場合、谷底縦断方向に段差が形成されることは、谷底部全体が河川同様に縦断勾配を有しているため容易に理解できるが、横断方向の段差は、人為的な段差とは考えにくく、これも河川の侵食・堆積作用により自然に形成された地形と考えられる。

本研究では、谷底横断方向の段差地形に着目し周辺の地形・地質を詳細に調査することとした。

さらに、図 3-1-7 に示すように侵食によって段差（段丘）が形成された場合、侵食により形成された段差面（段丘面）には洪水ピーク後の減衰期に、侵食力が弱まりいくらか土砂を堆積するものと推定される。この土砂の年代を測定することができれば、洪水の発生時期（年代）を推定することも可能と考える。すなわち、高さの異なる段差面の土砂の年代を測定することで、過去の大規模洪水や極値流量が発生した年代を推定することも可能と考えられる。

### 3.2 河道形成流量としての安定的な河道断面形状に関する研究

沖積区間における安定流路の河道断面形状と水理量の関係、特に流量と河幅の関係については、19世紀より現在まで理学と工学の分野で数多くの研究がある。古くから経験的に導かれた関係式として多くのレジーム論<sup>7)</sup>があるが、これらの式は個々の川についての経験に基づいて導かれたもので、一般的に成立するものではない。安定河道断面の水理的考察に基づく池田<sup>8)</sup>らの提案式は注目に値するが、多くの河川に対して、適切に説明できる式とはなっていない<sup>9)</sup>。

福岡らは<sup>10)</sup>、河川の河幅、水深等の断面形は、無数の大洪水を受けてきた歴史の中で、図3-2-1に示すように、河道形成流量（我が国では、現在の計画高水流量規模程度と考えている）、流域の地形、地質、河道勾配、河床材料（分布）といった外的因子の作用を受け形成されてきたものとし、河道を作った河道形成流量以下の洪水流に対して、河道は動的にほぼ安定した断面形、水面幅となっていると考えた。ここで動的安定河道とは、洪水外力によって変動が起こっても元の安定な状態に戻る河道を言う。一度、この安定な河道断面形が出来ると、図3-2-1に示すように、河道断面形は両矢印に示す関係、すなわち洪水流と河道の平面形・縦断面形と流砂の相互作用の中で変動はするが安定状態が継続することになり、通常の河床変動は、この関係の中で起こっている現象であると述べている。

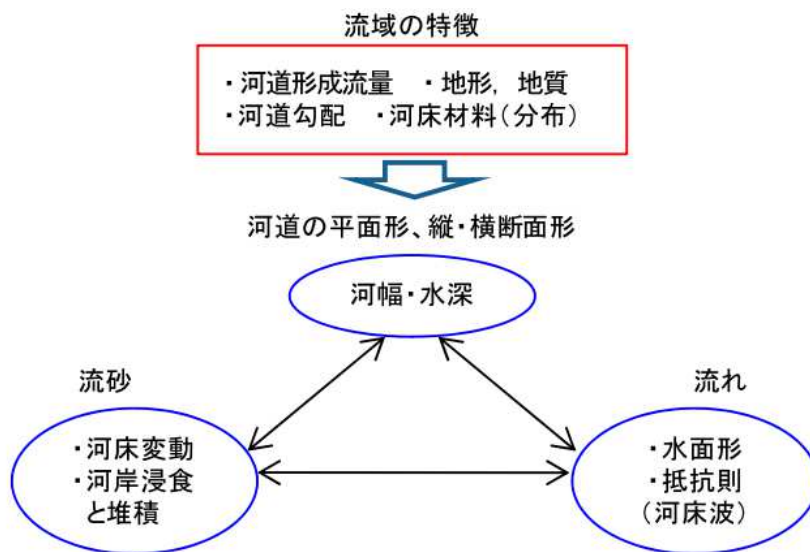


図 3-2-1 安定な河道形成の力学関係<sup>10)</sup>

そして、安定的な河道断面形状を次元解析により導き、国内・海外の河川において検証された「福岡の式」を示している。以下に福岡の式の基本的考え方を示す。



### 3.2.1 福岡の式の基本的な考え方

安定な河道断面形は、洪水流を規定する量と河川構造から決まると考えた。すなわち、河道の断面形状を河幅と水深で代表すると、安定な断面形は流量、河床勾配、河床材料特性等、以下の8つの独立な物理量に規定されることを示した。

$$f(Q, B, h, I, d_r, g, \rho, \sigma) = 0 \quad \dots \dots (1)$$

ここで、 $Q$ ：河道形成流量、 $B$ ：水面幅、 $h$ ：水深、 $I$ ：河床勾配、 $d_r$ ：代表粒径、 $g$ ：重力加速度、 $\rho$ ：水の密度、 $\sigma$ ：河床材料の密度である。

次元解析法における $\pi$ 定理より、次に示す5つの無次元量を導いた。

$$\phi\left(\frac{Q}{\sqrt{g}I d_r^5}, \frac{B}{d_r}, \frac{h}{d_r}, I, \frac{\sigma}{\rho}\right) = 0 \quad \dots \dots (2)$$

全国109水系の一級河川において、計画高水流量が基準地点を流下する時のデータを用いて、式(2)の無次元量間の関係を調べ、式(3)、式(4)に示す無次元河幅、無次元水深の式（「福岡の式」）を導いた（図3-2-2参照）。そして、人の手が加わっていない明治時代の利根川やカナダの自然河川および河岸拡幅実験等異なるスケールの沖積流路に対して、無次元河幅、無次元水深が流域の特徴を表す無次元流量に規定されることを明らかにした（図3-2-3参照）。これらの式は、沖積地河川に適用できるものである。ただし、粘着性の高い河岸材料からなる河川、岩河道の河川は対象外としている。

$$\text{平均式： } \frac{B}{d_r} = 4.25 \left(\frac{Q}{\sqrt{g}I d_r^5}\right)^{0.40} \quad \text{上限, 下限式： } 2.80 \left(\frac{Q}{\sqrt{g}I d_r^5}\right)^{0.40} \leq \frac{B}{d_r} \leq 6.33 \left(\frac{Q}{\sqrt{g}I d_r^5}\right)^{0.40} \quad \dots (3)$$

$$\text{平均式： } \frac{h}{d_r} = 0.13 \left(\frac{Q}{\sqrt{g}I d_r^5}\right)^{0.38} \quad \text{上限, 下限式： } 0.10 \left(\frac{Q}{\sqrt{g}I d_r^5}\right)^{0.38} \leq \frac{h}{d_r} \leq 0.14 \left(\frac{Q}{\sqrt{g}I d_r^5}\right)^{0.38} \quad \dots (4)$$

本研究は、谷底平野の沖積地を流れる河川において、河道形成流量と河幅の関係式を用いて極値流量の推定を行うものである。様々な関係式がある中で、無次元化され、国内・海外の多くの河川での適合性が確認され、一般性を備えている「福岡の式」を適用することとする。

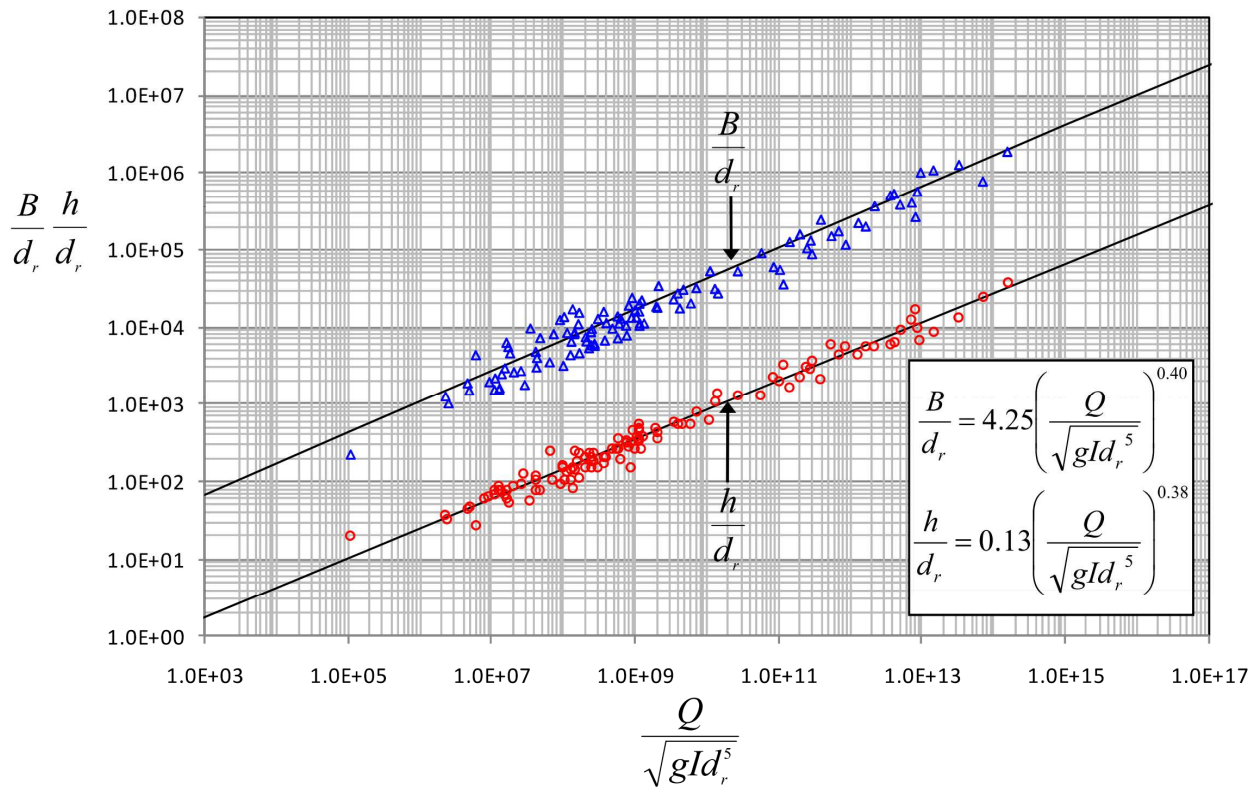


図 3-2-2 基本方針河道における無次元流量と無次元河幅，無次元水深の関係(全国 109 水系の一級河川)<sup>10)</sup>

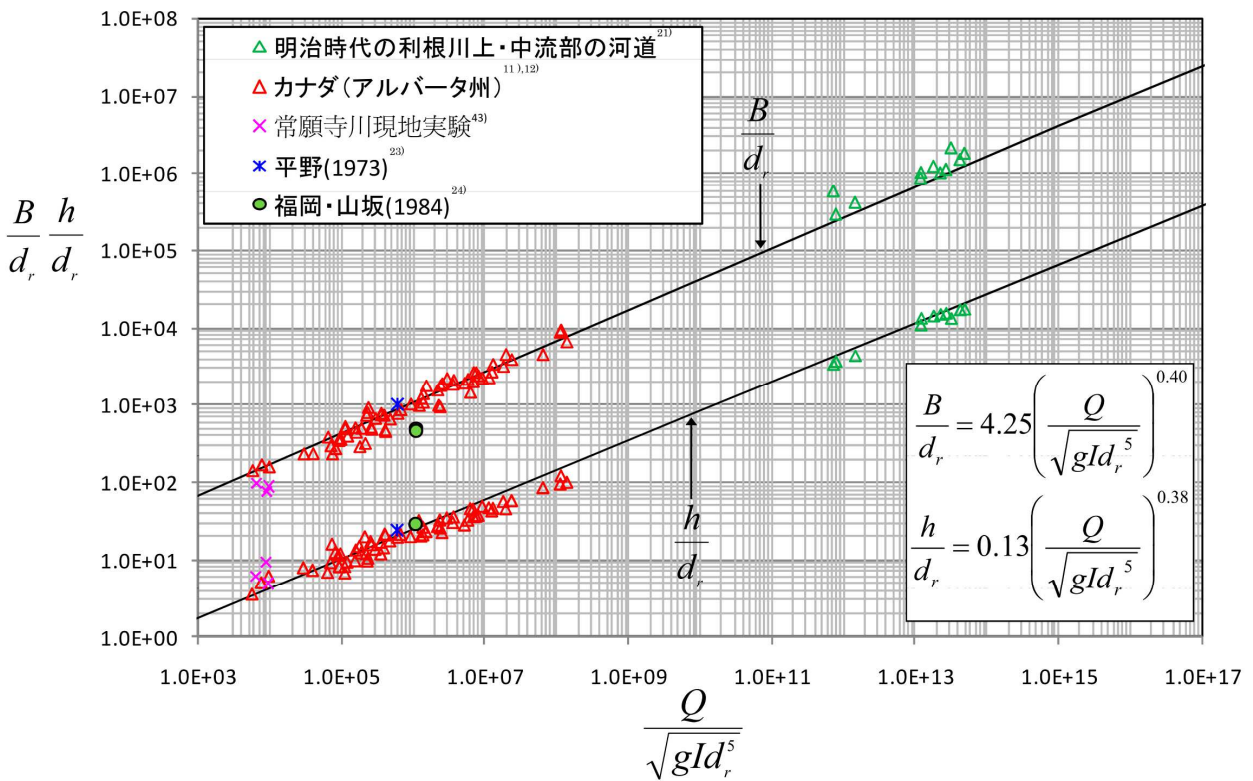


図 3-2-3 無次元河道形成流量と無次元河幅，無次元水深の関係<sup>10)</sup>  
(明治時代の利根川，カナダの自然河川，現地と実験の拡幅実験)

### 3.2.2 坂口、福岡ら<sup>5),11)</sup>の余笹川における福岡の式の適用

坂口、福岡らは、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している。そして、「福岡の式」を適用した極値流量推算の方向性を示している。

まず、余笹川の4k~13k区間を対象に1998年(平成10)洪水を平面二次元洪水解析で再現した数値モデルを作成した。そのモデルを用いて流量(水深)を少しずつ変化させ、水面幅が著しく変化する変化点の箇所を河道形成流量流下時の流水幅と考え、その流量は1998年洪水ピーク流量の99%流量に相当することを示した。その水際の流速は1.0m/s前後、水深は1m前後であり、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た。その99%流量時の流量、水面幅、水深を無次元流量、無次元河幅、無次元水深として福岡の式にプロットした結果が図3-2-4のように示された。

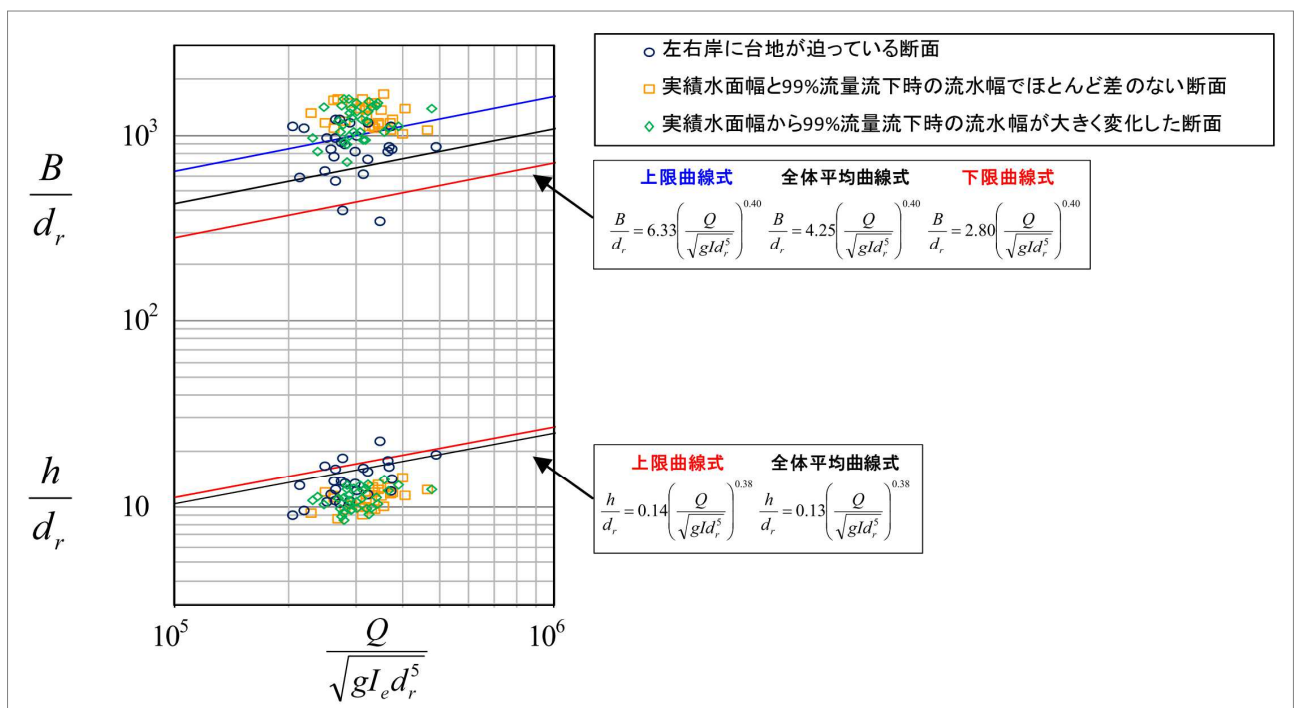


図 3-2-4 余笹川 1998 年洪水ピーク流量の 99%流量流下時の流水幅における無次元流量に対する無次元河幅、無次元水深の関係<sup>6)</sup>

図 3-2-4 に示すように、無次元河幅は「福岡の式」の上限式付近、若しくはそれよりも上側に多くプロットされた。この結果に対し、坂口、福岡ら<sup>10)</sup>は 99%流量時の水面幅は、99%流量が河道形成流量ではなく、さらに大きな流量が流れた際の水面幅であり、それが極値流量であると指摘した。図 3-2-5 に示すように、本来プロットされる  $B_{99}/d_r$  は図の矢印方向の「福岡の式」の範囲内と考えていたことは非常に興味深い考察である。

なお、福岡の式は河道形成流量が流れた際の河道断面形として無次元河幅と無次元水深を与えるものであり、水深に関しては(4)式を示している。坂口らは余笹川の1998年洪水ピーク流量時の無次元水深を求め図3-2-4に示し、下限式よりも下側へプロットされることを報告している。福岡ら<sup>12)</sup>は、河道断面形状の違いにより福岡の式の平均からずれが生じることを指摘し、上限式・下限式と幅のある(3)、(4)式を提示している。ここで、河道断面形状の違いとは、複断面形状の河道において低水路幅と堤防間の幅の比、高水敷水深と低水路水深の比の違い

のことであり、それぞれの比が小さい場合にずれが大きくなることを述べている。谷底低地を流下する流路においても、谷底幅一杯に薄く流下する洪水の場合、流路幅と谷底幅の比、高位段差上の水深と流路における水深の比が小さくなると、福岡の式からのずれが大きくなる傾向があると考えられ、図 3-2-5 の無次元水深が下限式の下側にプロットされた原因と推察される。

本研究では、「福岡の式」の無次元河幅（侵食幅）から無次元河道形成流量（極値流量）を推定することを中心として検討することとし、無次元水深に関する検討はこれ以上行わず今後の課題とする。

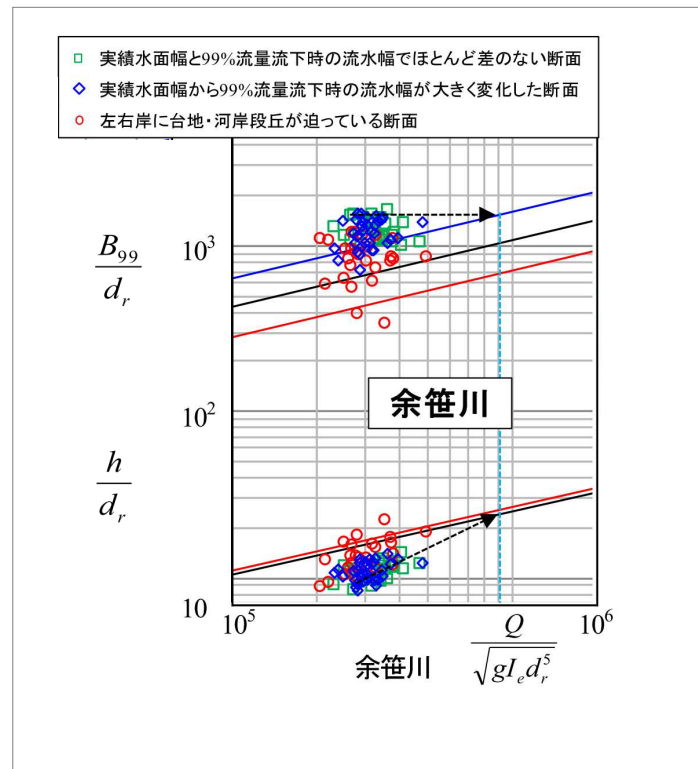


図 3-2-5 坂口、福岡らの極値流量推定の説明図<sup>11)</sup>

### 3.2.3 本研究における福岡の式の適用

谷底平野における河道形成流量が流れた際の河幅（河道形成幅）は、大規模洪水の場合には谷底幅一杯の流れとなり、水面幅は谷壁に規制されることとなる。したがって、この時の水面幅で極値流量の河道形成幅を適切に説明することは難しいと考える。この考えは、坂口、福岡ら<sup>6)11)</sup>と同じである。一方、写真 3-1-1 のような側方侵食幅は流量規模と正の相関にあり谷底低地の断面形成を説明する重要な指標と考えられる。そこで、本研究における河幅（意味のある河幅）を侵食幅と考えることとした。

また、坂口らが指摘した 1998 年（平成 10）洪水ピーク流量の 99% 流量水面幅は、本研究の高位段差位置の河幅に相当するものであり、極値流量を推定する河幅として着目した点は同じである。本研究の考え方を図 3-2-6 に示す。坂口らが着目した 99% 流量水面幅は 1998 年洪水に起因する河幅（侵食幅）ではなく、1998 年洪水よりも更なる大規模洪水時に侵食された河幅であり、その流量が極値流量と考える。すなわち、1998 年洪水で形成された侵食幅 B1 は Q1 と関連性があり、B2 は極値流量 Q2 と関連性のある河幅と考える。

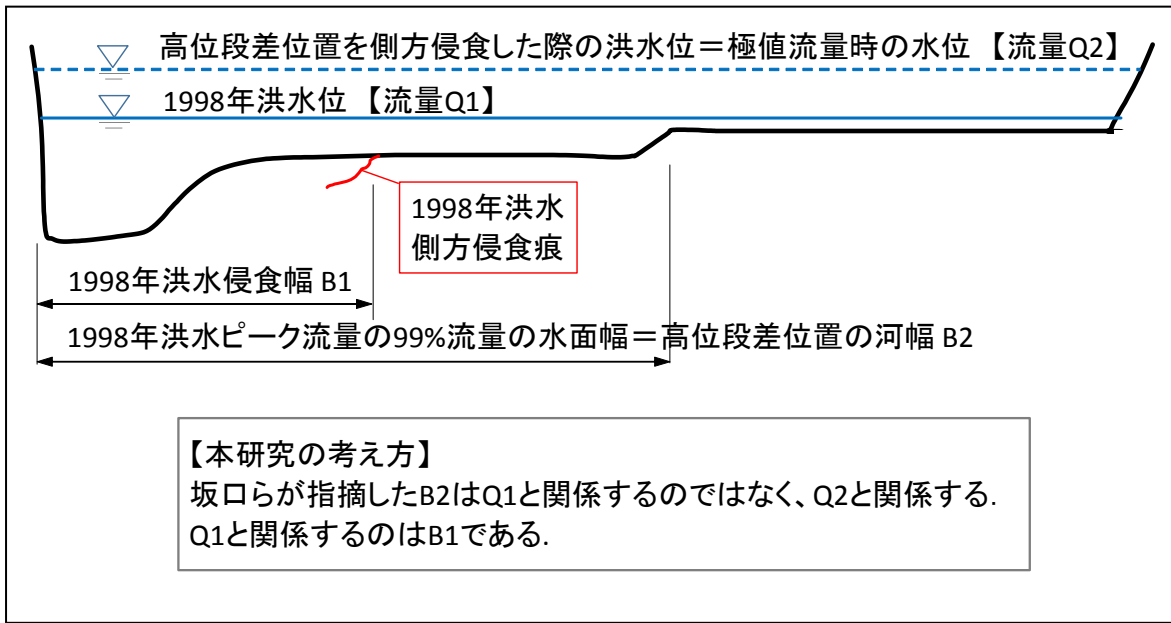


図 3-2-6 坂口らが設定した 1998 年洪水ピーク流量の 99%流量水面幅の意味

ただし、坂口らが指摘した水面幅は現在の地形に基づき設定したものであり、圃場整備後の人工改変の影響を受けた地形での評価である。本研究では、昭和 20 年代の米軍撮影の空中写真判読により人工改変の影響が少ない地形から段差位置と河幅の関係を整理することとした。このことについては、第 6 章で詳述する。

図 3-2-7 に本研究において「福岡の式」を用いた極値流量の推定方法(手順)を 5.2k の測定値を例として示す。まず、1998 年(平成 10)洪水時のピーク流量と 5.2k の側方侵食幅のデータを無次元化した値を「福岡の式」にプロットする。その結果、上限曲線式と下限曲線式の間プロットされた。このことは、「福岡の式」への適合性を示すものであり、その点を通る関係曲線式(図中の一点鎖線)を設定し、その線上で 5.2k の高位段差位置の無次元河幅に相当する無次元流量を読み取る。その流量を極値流量と推定する。

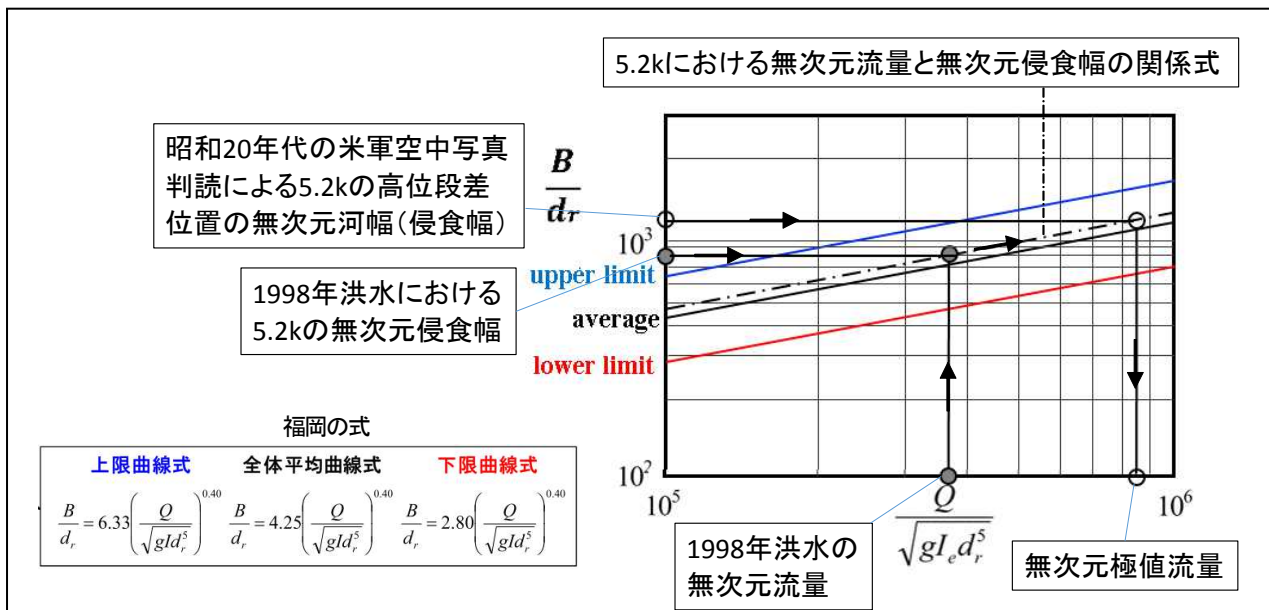


図 3-2-7 福岡の式を用いた余笹川の極値流量推定方法(余笹川 5.2k を例として)

この考え方は、段差ごとの河道形成断面形状がほぼ相似形状であり、同じ関係曲線式上で説明できることを前提とするものである(図 3-2-8 参照)。このことは、笹木、福岡<sup>13)</sup>らの望ましい河道断面に関する研究において、無次元流量の増大(減少)していくときに無次元河幅が福岡の式の範囲内で式に沿って移動することが報告されていることにも関連していると考えられる。

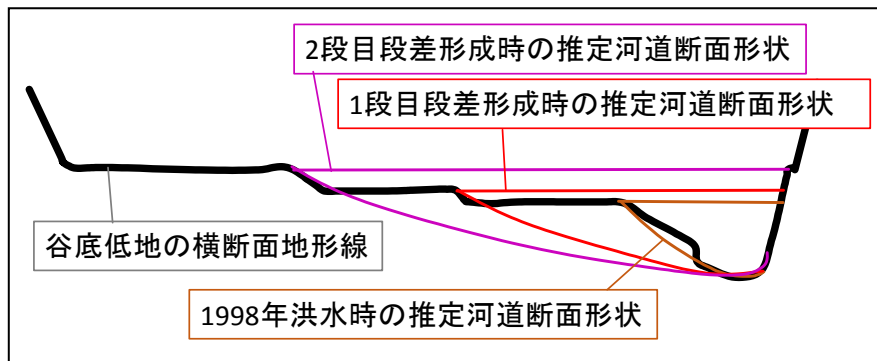


図 3-2-8 段差ごとの河道形成断面形状の模式図

### 3.3 谷底平野を流れる河川地形から極值的流量を推定する方法

谷底侵食低地における側方侵食幅の痕跡から現世における既往最大流量（極値流量）を推定する流れを図 3-3-1 に示す。

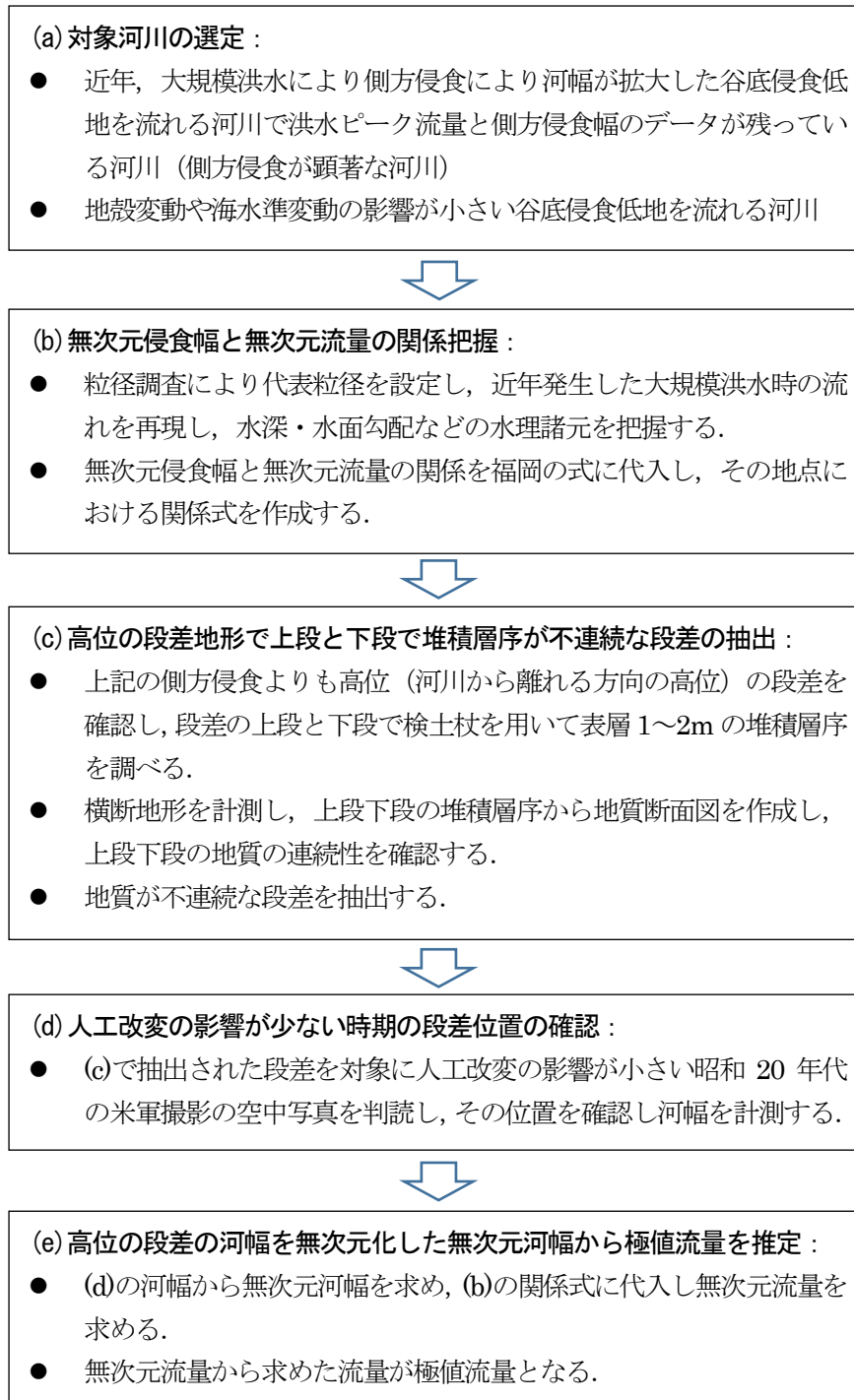


図 3-3-1 谷底侵食低地における極値流量推定の手順

### 3.4 本章のまとめ

栃木県を流れる一級河川那珂川左支川余笹川の下流域では、1998年（平成10）豪雨により側方侵食で流路幅が3～5倍に拡大する特徴的な災害が発生し、様々な調査と研究が行われていた。本研究は、既往研究のレビューと現地調査により、大規模洪水に関係する特徴的な地形を確認し、河道形成流量と河幅の関係式を用いて極値流量の推定を試みた。以下に、その考え方を示す。

- ① 極値流量推定に適した地形種として、谷底平野を流れる河川地形に着目する。谷底平野は両岸に谷壁が形成され、過去の大規模洪水が溢れることなくその痕跡を残している可能性があることが選定理由である。
- ② 谷底平野の中でも、過去の侵食の痕跡が残っている可能性が高い、侵食が卓越している谷底侵食低地に着目する。谷底堆積低地は過去の洪水の侵食痕跡は埋塞し確認できない状態にあると考えられたため、対象外とした。
- ③ 1998年（平成10）の余笹川の災害では、蛇行部をショートカットするように新流路を形成し、側方侵食が拡大したとの報告がある。余笹川の谷底侵食低地の谷底横断方向（河川の流れに対して横断方向）の地形を精査すると、1998年（平成10）豪雨により側方侵食された箇所よりも川から遠ざかる方向に1～2段の段差があり、川から遠ざかるに従い徐々に地盤高が高くなることが分かった。この段差地形は、過去の大規模洪水時の側方侵食により形成された侵食崖であり、高位の段差は極値流量により形成されたものと考えた。
- ④ 沖積地を流れる河川の安定流路の河道断面形状と水理量の関係、特に流量と河幅の関係については、19世紀より現在まで理学と工学の分野で数多くの研究がある。本研究では、様々な関係式がある中で、無次元化され、国内・海外の多くの河川での適合性が確認され、一般性を備えている「福岡の式」を適用し、河道形成流量と河幅の無次元量の関係式を用いて極値流量の推定を行うこととした。
- ⑤ 坂口らが指摘した1998年（平成10）洪水ピーク流量の99%流量水面幅は、本研究の高位段差位置の河幅に相当するものであり、極値流量を推定する河幅として着目していたことは大変興味深い。本研究では、坂口らが着目した99%流量水面幅は、1998年（平成10）洪水に起因する河幅（侵食幅）ではなく、1998年（平成10）洪水よりも更なる大規模洪水時に侵食された河幅であり、そのときの流量が極値流量であると考えた。
- ⑥ 1998年（平成10）洪水時の側方侵食の河幅とピーク流量の実績値から「福岡の式」を用いた極値流量の推定手順を示した。



## 【参考文献】

- 1) 鈴木隆介：建設技術者のための地形図読図入門，古今書院，2002.
- 2) 安全で緑豊かな川を目指して ～平成10年8月末豪雨余笹川流域河川災害復旧事業の記録～，栃木県，平成15年3月
- 3) 上野鉄男：余笹川流域の1998年水害の発生構造について，自然災害科学 24-3，pp.303-321，2005
- 4) 伊藤和典，須賀堯三，茂木信祥，池田裕一：平成10年8月末の那須出水による余笹川の流路変化の特性，水工学論文集，第44巻，pp407-412，2000.
- 5) 中川一，高橋保，里深好文：1998年豪雨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，pp395-400，2000.
- 6) 坂口達哉，久保雄生，福岡捷二：谷底平野を流下する河川の大洪水時の河幅の研究，水工学論文集，第57巻，pp1165-1170，2013.
- 7) 吉川秀夫：改訂河川工学，朝倉書店，1966.
- 8) 池田駿介，Gary Parker，千代田将明，木村善孝：直線礫床河川の動的安定形状とそのスケール，土木学会論文集，第375号，pp.117-126，1986.
- 9) 福岡捷二，寺沢直樹，山崎憲人，塚本洋祐：巨石を有する礫床河川の水利，河川技術論文集，第13巻，pp. 339-344，2007.
- 10) 福岡捷二：温暖化に対する河川の適応技術のあり方—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，pp471-489，2010.
- 11) 坂口達哉：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，中央大学工学部修士論文，2014.
- 12) 福岡捷二，坂口達哉：無次元流量に対する無次元河幅・水深のとり範囲と整備途上河川への適用，土木学会論文集B1（水工学），Vol.68，No.4，I-1423—I-1428，2012
- 13) 笹木拓真，宮原幸嗣，福岡捷二：複断面から船底形断面河道への改修による洪水流況及び低水路河床高の変化，河川技術論文集，第20巻，2014.
- 14) 佐藤照子：1998年8月那珂川水害の被害と土地環境，科学技術庁，主要災害調査第37号，pp 137-216，2001.