

# 治水と環境の調和した治水適応策としての 河幅, 断面形の検討方法

DETERMINATION METHOD OF RIVER WIDTH AND CROSS-SECTION FOR  
HARMONIZATION BETWEEN FLOOD CONTROL AND RIVER ENVIRONMENT

福岡捷二<sup>1</sup>  
Shoji FUKUOKA

<sup>1</sup>フェロー, 工博, Ph. D, 中央大学理工学部特任教授, 研究開発機構教授  
(〒112-8551 東京都文京区春日1-13-27)

People have questions why the river width has to be widened or levees to be set back although the space and capacity of rivers is large enough. River engineers are required to give explanations for their “why” so as for people to understand the future plan of flood control and river environment. Their interests are closely related to change in the width and shape of cross section of the river.

This paper deals with determination method of river width and cross section which satisfies the harmonization between flood control and river environment. Fukuoka’s equation is used for determination of width and cross section in rivers having severe management problems. Examples applied are how to manage and determine proper width and cross section for rivers with dense vegetation growth and bed degradation of channels.

**Key Words :** river width and cross section , Fukuoka’s equation, harmonization of flood control and river environment

## 1. まえがき

本文では, 最初に先の論文<sup>1)2)</sup>で提示した河川の無次元河幅, 無次元水深を無次元流量の関数形で表わす式(福岡の式)が持つ工学的意味を述べ, 次に, 異なるスケールの河川の河幅や断面積等を統一的に議論するには, 無次元表示式で比較検討されねばならないことを示す。また, 中小洪水及び地球温暖化により生起が予想される大洪水流量をも考慮に入れた多自然川づくりとそれを受け入れる河川断面形等は, 流量の増加に伴って水面幅が増大する船底形断面を基準とするのがよいことを述べている。最後に, 福岡の式を今後の治水適応策として河幅, 水面幅や河道断面形の検討に用いる際の適用方法, 及び今後の多自然川づくり, 管理に必要な検討事項, 留意事項を述べている。

## 2. 計画高水流量規模まで意識した多自然川づくりの展開

将来の気候温暖化に伴い, 河川流域の位置やスケールの違いによって, 降雨量や洪水流量がどのように変化するかを正しく推定することは, きわめて重要な技術課題

である。温暖化による降雨量の変化を予測するための精度向上と一体的に治水施設の整備や多様な治水適応策を検討されることになる。ハードとソフト面から新しい治水適応策を検討することは必要なことであるが, 同時に河川整備基本方針に沿って河川整備計画を着実に実行し, 治水安全度を向上していくことも同様に重要である<sup>3)</sup>。

適切な河川整備を進めるためには, 将来の河川がどのような姿になるのかを示したうえで, 河川改修がなぜ必要かを理解してもらう必要がある。自然河川を, 自然に近い河川であるとする, それは, 治水と環境の調和した河川であり, 多自然川づくりの基本をなすものと考えることが出来る。また, 自然河川とは, どのような断面形, 河幅を有しており, 現在の河川の河幅, 断面形はどのように決まってきて, それらは自然河川と比較してどのような対応関係にあるのかを説明する資料を用意せねばならない。上述の背景のもとに, 著者ら<sup>1)2)</sup>は, 我が国一級河川の基準地点の基本方針河道について, その無次元河幅, 水面幅, 水深が, どのような力学関係で形成されたかを調べ, また同様に, 海外の自然河川についても調べた。

図-1は, 次元解析を用いて導いた無次元河幅, 無次元水深と無次元流量の関係を我が国一級河川の基本方針河

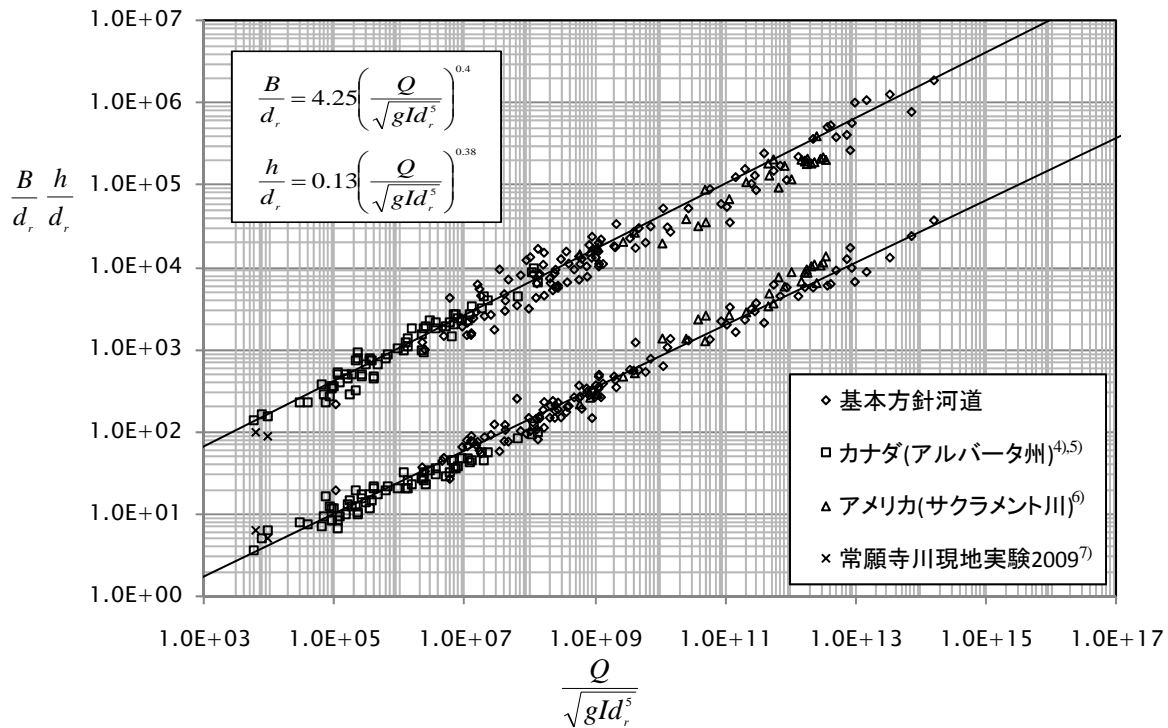


図-1 基本方針河道と海外の自然河道の比較

道, カナダアルバータ州の自然河川<sup>(4,5)</sup>, アメリカにおけるサクラメント川<sup>(6)</sup>および常願寺川現地水路における拡幅実験結果<sup>(7)</sup>について, いずれも河道形成に関係したと考えられる河道形成流量を用いた結果をプロットした. 図中の二つの線はデータを平均的に表す以下に示す福岡の式である.

$$\frac{B}{d_r} = 4.25 \left( \frac{Q}{\sqrt{gI d_r^5}} \right)^{0.40} \quad (1)$$

$$\frac{h}{d_r} = 0.13 \left( \frac{Q}{\sqrt{gI d_r^5}} \right)^{0.38} \quad (2)$$

ここで, 右辺の関数形  $Q/\sqrt{gI d_r^5}$  を無次元流量と呼ぶ. 無次元河幅, 無次元水深と無次元流量の非常に大きな範囲について, 福岡の式が 高い相関をもって成立することが分かる(相関係数は, 日本の河川, カナダの河川データについて, 式(1)は0.80, 式(2)は0.86である)<sup>1)</sup>. 河岸, 河床が粘土主体の粘性土河川<sup>(8)</sup>, 岩からなる岩河川は, 沖積地河川の河道形成機構と異なることから, 式(1), 式(2)のデータから除外されている<sup>1)</sup>. 式(1), 式(2)は, 自然界における大きな外力である洪水流によって形成された河道におけるたがいに独立な物理量である流量  $Q$ , 水面幅  $B$ , 水深  $h$ , 水面(河床)勾配  $I$ , 河床代表粒径  $d_r$  を用い, 無次元河幅, 無次元水深, 無次元流量で表現した力学関係式である. この式は無次元形のまま用いなければならない. この理由を以下に示す.

式(1)は, 式(3)のように河幅を次元量  $B$  で書くことは

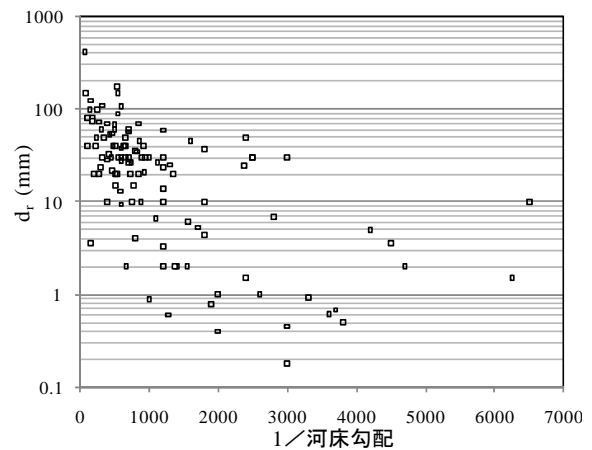


図-2 全国109水系基準地点における粒径と河床勾配の関係

可能である.

$$B = 4.25 \left( \frac{Q^2}{gI} \right)^{0.2} \quad (3)$$

しかし, 式(3)の表現は一般性を持たないと考える. すなわち, 式(1)の両辺に含まれている河床材料の粒径  $d_r$  は, 0.4乗という式の冪乗のために式(3)には含まれず, 粒径は河幅に効かない式になっている. しかし, 以下の2つの理由でこの解釈は正しくない. 第一の理由は, 式(1), 式(2)の表現で重要なことは, 無次元河幅, 無次元水深が力学的にどのような関数で決まるのかであって, 式(1)は, データを平均的に説明する近似式である. したがって, 式の冪乗(0.40, 0.38)については, さらに個々の河川の特徴を踏まえて, データを調べてみる必要がある. 第二は, 動的に安定な河道の河幅の決定には, 河床材料の代表粒

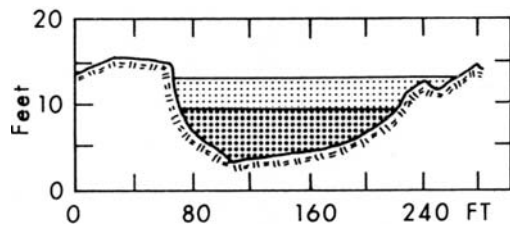


図-3 カナダの自然河川に見られる船底形断面形<sup>9)</sup>

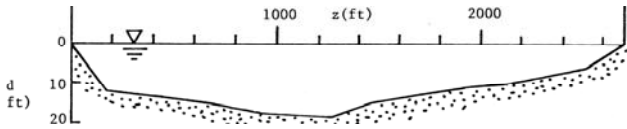


図-4 ミシシッピー川の船底形断面形<sup>10)</sup>

径  $d_r$  は欠かせない<sup>9)</sup>。図-2は、式(1)、式(2)を導くために用いた互いに独立な代表粒径  $d_r$  と河床勾配  $I$  の関係を示す。図より、同一勾配でも、異なる代表粒径を持つ河川が多いのは、それぞれの河川で安定河道断面の大きさと支配流量が、異なるためである。式(1)では、水面(河床)勾配  $I$  は、外力である重力  $g$  と一体となって河道形成に関係するとし、無次元流量の中では、 $gI$  の形で陽的に考慮され、陰的には河床材料の代表粒径との関係で考慮されている。以上のことから、河幅等の算定は、式(1)、式(2)の無次元形を用いて求めなければならない。

### 3. 多自然川づくりの標準的な断面形は船底形断面形

我が国の中・下流部で河道の標準断面として用いられている複断面河道は、河川を生活の場とする生物にとっては空間的連続性が低く、必ずしも好ましい状況とはなっていない。近年、高水敷と低水路の比高差が大きくなり、治水上、環境上望ましくない状況が顕れてきている。さらには、気候の温暖化は、洪水流量の増大をもたらすと言われており、流量増の一部を河道で対応しなければならない事態が起こることも予想される。そのため、治水、環境の両面にとって望ましい河道断面形状が求められている。

カナダやアメリカの自然性の高い河道の多くは図-3、図-4に見られるように船底形横断面形をしており<sup>9),10)</sup>、水面幅や水深は式(1)、式(2)を満足している。船底形断面形とは、河道断面の潤辺の形が船の底の形に近い断面形のことを言い、直線河道や蛇行河川の変曲点付近を除いてはその上下流の河道平面形と流れの影響を受け、左右どちらかに最大水深部分を持っており、流量の増大(減少)とともに水面幅が増大(減少)するような河道断面形で、水面幅と水位が河道を特徴付けている。

我が国の基本方針河道形状が、ほぼ完成河道である基準地点の横断面形もまた、川が有する自然の機能によって船底形形状をなしているものが多い。一例として、斐伊川基準地点の河道横断面図を図-5に示す。船底形断面形を有するミシシッピー川の断面を無次元形で表わし、斐

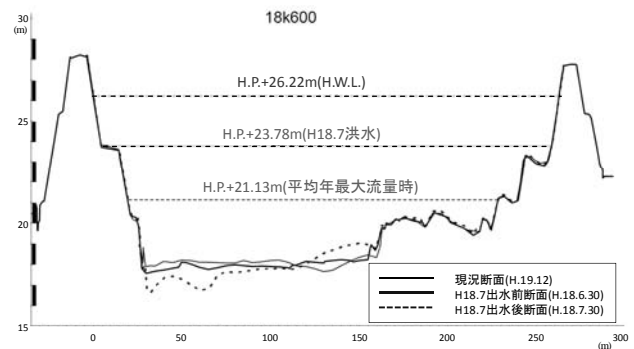


図-5 洪水流に対して安定な断面形を有する斐伊川基本方針河道(基準地点)

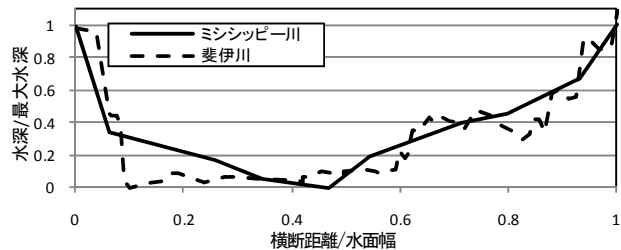


図-6 ミシシッピー川と斐伊川の無次元断面形の比較

伊川の断面と比較したものを図-6に示す。一見、河岸が立っているように見える我が国の多くの直轄河川においては、明確な複断面形、および単断面形の河川を除いては、近似的に船底形断面形をなしている。

今後、整備途上河川を段階的に治水と環境の調和した多自然河川に改修していくときには、船底形断面形を標準形として、自然の営力に適合した断面形をとることになる。図-7には、複断面河道から船底形断面河道への段階的改修の一例を模式的に示す。上下流の平面形によっては、主流部が中心から右や左に移動することになる。段階的改修においては、人間が河川に手を貸すことによって、河川自らが自然的な川を作りあげていくという考え方が基本になければならない。船底形河床形状が、規模の異なる洪水流に対しても、概ね安定形状を保ちうるかは多自然川づくりの重要な検討課題である。図-5に示す基本方針河道となっている斐伊川基準点河道区間では、これまで洪水を度々経験している。基準地点を挟むほぼ1.2km区間の洪水前後の横断測定の重ね合わせから、河道は長い区間にわたって動的に安定していることが明らかになっている。一方で、船底形横断形状は水流と河床面との境界、すなわち潤辺形状を連続的にすることにより水位に応じた河道横断面の冠水頻度をとることとなり、これによって浸水深に応じた樹木の種の形成と河道内樹木の繁茂拡大を防ぐ。さらに、陸域と水域を連続的に移動する生物にとっても好ましい水域環境を有する縦横断面形を提供する。河道内樹木やそれらの維持管理については、すでに基本方針河道が出来上がっている区間について、過去に発生した洪水流水位と木本、草本の種類、繁茂状況の関係を河川水辺の国勢調査データや、現地での調査によって関係づけ、また専門家の意見を聞き

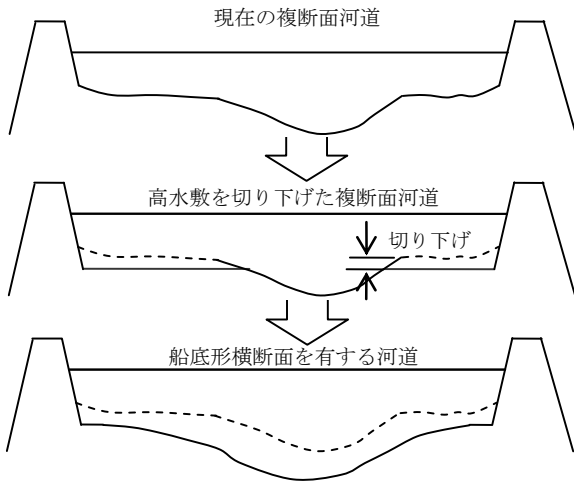


図-7 複断面河道から船底形断面河道への段階的改修の一例

ながら、計画高水流量規模まで含めた多自然川づくり、河川管理が適切に行われるよう水辺の環境情報を積み上げていくことが望まれる。

#### 4. 多自然川づくりへの福岡の式の適用

河川の河幅、水面幅や水深等のスケールが、力学的、地形学的にどのように決まってきたかについては、河川問題の本質的重要性にもかかわらず、これを本格的に取り扱った研究は著者の知る限り存在しない。国内、国外の河川学、河川工学では、河幅を一定幅として与えて、その中での水理現象を扱うことが一般的に行われている。

河道断面形状について、古くから経験的に導かれた多くのレジーム論がある<sup>11)</sup>。これらは、安定した灌漑水路や沖積河川について、例えば、水路幅については水路の設計流量  $Q$  の0.5乗に比例する等とするレジーム論が数多く発表されてきた。しかし、レジーム論は、力学的な考察がなされず、それぞれの水路の河幅等を説明するように係数を決めている。このため、長さの次元をもつ河幅等が  $Q$  の0.5乗の次元で表わされる経験式となっており、一般的に成立するものではない。

池田ら<sup>12)</sup>は、河道断面を規定する式を水理的考察に基づき提案したが、広く変化する洪水流、河道条件で河川の河幅等を説明できる式とはなっていない。

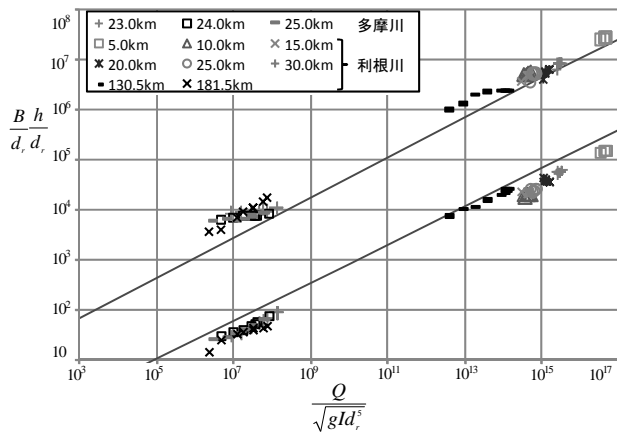
山本<sup>13)</sup>は、我が国の沖積地河川における河道形成流量が平均年最大流量であるとして、低水路の幅、河積と流速について建設省（当時）の全国河川調査データ（全国河川粗度係数資料集）を用いて検討している。山本は、沖積地河川の平均年最大流量時の低水路の流速係数 ( $\phi = V_m/u_*$ ) が、河床材料の代表粒径と河床勾配の関数  $f_1(d_r, I_b)$  で表現され、また、洪水流の摩擦速度の2乗 ( $u_*^2$ ) が代表粒径の関数  $f_2(d_r)$  で表現されるとして、経験的に導いたこれらの二つの関係を用いて、低水路の河幅  $B(=f_1^{-1} f_2^{-1/2} g Q_m I_b)$ 、平均水深  $H_m(=f_2/g I_b)$ 、平均流速  $V_m(=f_1 f_2^{-1/2})$  が、河床勾配  $I_b$ 、河床材料の代表粒径  $d_r$ 、平均年最大流量  $Q_m$

の3量によって表現されるとした。しかし、最も重要と考えられる関係式  $u_*^2 = f_2(d_r)$  では、 $f_2$  が次元を有する係数であるために、 $B$ 、 $H_m$ 、 $V_m$  のいずれも正しい次元量で表わされた式となっていない。このために、河川のスケールや洪水流のスケールの違いの影響を受けることになり、山本の式は、その適用範囲に限界がある。事実、日本の河川データから導かれた  $u_*^2 = f_2(d_r)$  の関係式は、Brayら<sup>4,5)</sup> によるカナダのアルバータ州の河川では成立し得ないことが山本によって示されている<sup>13)</sup>。これは河川や洪水流のスケールの違いが影響していると考えられるべきであろう。山本の式は、河川スケールの決定機構に河川力学を組み込むことを試みてはいるが、レジーム理論と同様に適切な次元をもつ関係式として表現されていないところに課題がある。

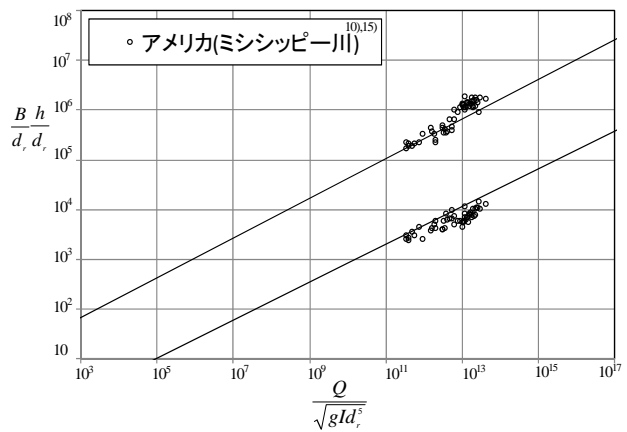
改修途上にある河川の治水と環境の適応策、さらには、地球温暖化に対応する治水と環境の適応策に向けて河幅や断面形の検討にあたっては、従来の河道計画<sup>14)</sup>の再検討を行い、無次元関係式に基づく新しい視点での議論がなされるべきであると考えられる。

福岡ら<sup>12)</sup>は、流域規模から決まる計画高水流量相当の流量を河道形成流量として、無次元河道形成流量によって無次元河幅、無次元水深が決まることを示した(図-1)。すなわち、我が国の直轄河川の安定な河道を形成する流量（河道形成流量）は、従来言われている平均年最大流量というよりも、計画高水流量相当であることを示した。このようにして決まっている安定な河幅、断面形等を有する河道に対して、計画高水流量以下の流量が生じた場合、十分な土砂移動があるため、河床や河岸は洗掘、堆積を受け変化する。しかし、これは、河道形成流量以下での水理現象であるため、動的安定の中での河床、河岸変化である。一方、地球温暖化によって現在の計画高水流量規模を超えた流量が生じると、その流量が新たな無次元河道形成流量となり、それに応じた無次元河幅、断面形の河道が形成されることを福岡の式は示している。

図-8(a)は、多摩川、利根川の現況河道断面で、実際に起こった洪水流の主要地点での実測水位-流量ハイドログラフに対応する水面幅(河幅)、水深を用いて、無次元流量に対する、無次元水面幅、無次元水深の関係を示したものである。多摩川洪水は、平成19年洪水(基準地点石原、最大流量4,088m<sup>3</sup>/s)、利根川洪水は、平成10年(基準地点八斗島、9,200m<sup>3</sup>/s)、平成19年(銚子大橋5,499m<sup>3</sup>/s)の洪水ある。同様に、ミシシッピー川<sup>10),15)</sup>について、河道形成流量に比して小さい洪水流量についての検討結果を図-8(b)に示す。図中の線は、福岡の式を示す。各河川で、代表粒径は、河道形成流量条件で用いた粒径を用い、河床勾配には実測水面勾配を用いている。図は、無次元水面幅、無次元水深のいずれも、低い無次元流量時の値から徐々に無次元河道形成流量時の値に近づいていく様子を示す。検討対象河川は、堤防間の幅は十分大きい大河川であるために、発生洪水の無次元水面



(a) 多摩川, 利根川



(b) ミシシッピー川

図-8 現況断面における実績洪水時の無次元量の関係

幅は、福岡の式より上側にプロットされている。中小流量時には、広い河道断面形状のために水面幅が広がることが可能で、大きめの無次元水面幅、それゆえに小さめの無次元水深をとるが、大流量時には、無次元水面幅は、ほぼ河道形成流量時の値に近づく。河道整備段階など、河幅が無次元河道形成流量で決まる無次元河幅よりも狭い河川では、無次元水面幅は、福岡の式よりも下側にプロットされることになる。

以上の考察より、福岡の式は、無次元河道形成流量に対する無次元河幅、無次元水深を求める式であると同時に、整備途上における河川管理問題、例えば、所要の水面幅を求めるに必要な無次元流量、これとは反対に、所要の無次元流量を求めるための無次元水面幅の決定等に用いることができる。

以下では、多自然川づくりの視点から、3つの河道管理課題について、福岡の式の適用方法を述べる。

### (1) 樹木の密生により流下能力が低下している河川の樹木伐採範囲及び伐採後の河道断面の決め方

1. 伐採区間の河床材料粒度分布、60%粒径及び河床勾配を求める。
2. 検討対象流量と樹木伐採区間の伐採範囲とそれを考慮した河道断面形を、福岡の式により現地の河床材料粒径、河床勾配等を用い検討する。断面形は船底形断面とする。樹木伐採区域を設定し、設定流量を河床が安定するまで通水し河床変動計算より断面形と河床材料を求める。
3. 設定条件では、河床低下が大きすぎる場合は、河積を広げる。堆積が多い場合は、河積を縮小する。1～3の手順を繰り返す。
4. 対象区間の最終断面に対して、設定流量に対し福岡の式が成立するかを、その区間の安定河道断面、河床材料、河床勾配を用いて確認する。

### (2) 土丹露出やみず道の深掘れ等が現れている区間の河床上に砂礫を堆積させ、河床高を回復するための断面形、水面幅の決め方

1. 一般に、露頭した土丹上には、洪水時、砂礫が存在できない。砂礫供給源である土丹露出河床の上流の河床材料粒度分布を調べ。事前にある程度の厚さの砂礫を敷き均しておく。検討区間の河床勾配を求める。
2. 河床高を回復する区間の河道断面形を、検討対象流量と想定河床材料粒径、河床勾配を用いて福岡の式を用いて一次設定する。断面形は船底形とする。
3. 事前においた河床材料及び上流から供給される河床材料について、与えられた流量、勾配、河道断面形で河床高が動的に安定するかを河床変動計算によって調べる。
4. 河床が安定せず河床低下が大きい場合には、船底形断面を広げ、堆積が大きい場合には、断面形を縮小し、1～3の手順で検討を行う。
5. 河床が動的に安定することが明らかとなった場合には、無次元水面幅、無次元流量の関係式を満足する範囲におさまるかを確認し、船底形断面の二次設定をする。
6. 有効な河床材料が河床に留まることが不可能な場合には、土丹河床上に巨石をある分布で配置するか、簡易な床止めを設置するなどの措置を行い、砂礫が留まるようにして、同様な検討を行い船底形断面形を決める。

### (3) 中小河川における多自然川づくりの河幅、水面幅、水深等の検討方法

1. 中小河川では、河道の流下能力を高めるための河道拡幅に必要な土地の制約が大きい。現行の多自然川づくりには、河幅を決める指標がないため具体的設計論になり得ていない。河川工学の視点からの議論が必要である。
2. 対象中小河川は、どのような治水、環境上の位置づけにあるかを、福岡の式において流量、河幅、勾配、河床材料の粒径の関係から水面幅等を検討する。

3. 福岡の式より、治水と環境の両面から決まる自然河道に近い河幅(水面幅)はどの程度なのか。現在の河幅は、治水上、環境上どのような位置づけにあるかを検討する。
4. 多自然川づくりの視点から、河幅、河道断面形等の改善方策を検討する。

以上のように、福岡の式は、地球温暖化による洪水流量の増大に対する環境との調和を考慮した河道の断面形、流下能力が不足している河道において、低水路内の濡筋幅、低水路幅、全河幅のような河幅の変更とそれに対応する河道の断面形の決め方に対し判断材料を与えることを示したが、維持管理、予防的な治水対策、河川環境の回復、ダムの必要性など、現在治水計画の喫緊の課題となっている問題にも適用が可能と考えられ、さらには、河川事業における改修の必要性と改修の効率化、事業の優先順位などの検討にも用いることが可能であると考えている。

## 5. あとがき

沖積地河川の特徴を表す平面形、縦横断面形、特に、河幅、水面幅、断面形は自然の力学法則によって決められていることを福岡の式は示しており、河道形成の普遍的関係式であるといつてよい。無次元河川断面形が一つの関係式で表現できるということと、個々の河川には個性があることは矛盾しない。河川の個性は、河幅、水面幅等に現れるとともに単列砂州や網状砂州などの河道内微地形やその影響を受ける水の流れ方、木本、草本の生え方、生物の種類とその生活史、人々と川の付き合い方等に見ることが出来る。多自然川づくりは、流域の条件から決まってくる河幅、水面幅や断面形等の河川のでき方とその中で現れている川の個性を意識した自然河川に学ぶものでなければならず、河川管理もまた多自然河川管理でなければならない。

福岡の式は、データの少ない国内・国外の河川についても、支配流量、河床勾配、河床材料の代表粒径が得られれば、必要な河幅、水面幅、水深等が見積もれることになり、その応用性は高い。今後、我が国及び発展途上国での河川の計画や維持管理に福岡の式を用いるときには、目的に応じて流量、勾配などの諸量の持つ意味を十分検討して利用しなければならない。

一級河川では、基準地点における基本方針河道断面は概略決められている。その形は、現状の河道断面形をベースに計画高水流量を流すように決めた断面形であり、船底形断面形のように治水と環境の調和を考えた断面形とは言い難いものも多い。基準地点及び河道沿いの主要点についても船底形断面を基準として、個々の河川にふさわしい断面形を検討することが望まれる。特に低水路と高水敷の比高差が大きい低水路で護岸がなされている断面を、船底形断面形に改修していく場合には、護岸部

分の処理と、新たにできる水際の作り方に注意をしなければならない。

河川の高水敷利用の面からは、船底形断面河道は議論のあるところであるが、護岸設計だけといった局所的視点で河川を見るのではなく、広い視野で河川全体をみて、データをもとに多自然河道の作り方、河川管理の在り方についての技術的課題を明らかにしつつ、その後の河道の変化を濁水面、環境面からフォローアップして社会が河川に求めるものも含めて総合的に検討していくのがよいと考えている。

## 参考文献

- 1) 浅野文典, 福岡捷二: 沖積地河川における安定な川幅・水深 - 治水と環境の調和を目指した河道断面の決め方, 水工学論文集, 第54巻, pp. 1021-1026, 2010.
- 2) 福岡捷二: 巻頭言, これからの河川管理を考える—自然河川に学ぶ, 河川, 66巻, 第3号, pp. 3-9, 2010.
- 3) 福岡捷二: 洪水の水理と河道の設計法, 森北出版, 2005.
- 4) Bray, D.I.: Estimating average velocity in gravel-bed rivers, *J. Hydraulics Div. ASCE*, Vol. 105, HY9, pp. 1130-1122, 1979.
- 5) Kellerhals, R., Neill, C.R. and Bray, D.I.: Hydraulic and geomorphic characteristics of rivers in Alberta, *River Engineering and Surface Hydrology Report*, 72-1, 1972.
- 6) Nakato, T.: Test of selected sediment-transport formulas, *Journal of Hydraulic Engineering*, Vol. 116, No.3, pp. 362-379, 1989.
- 7) 前嶋達也, 岩佐将之, 長田健吾, 福岡捷二: 石礫復断面河道における流れ, 縦横断面形状, 河床材料分布に及ぼす河道平面形状の影響, 土木学会年次学術講演会, 2010(投稿中)
- 8) Schumm, S.A.: The shape of alluvial channels in relation to sediment type, *US Geological Survey Professional Paper*, 352-B, 1960.
- 9) 福岡捷二: 石礫河川の移動床水理の諸問題と解決への道筋, 第44回水工学に関する夏期研修会講義集, Aコース, pp.1-25, 2008.
- 10) Nakato, T., and Kennedy, J. F.: Field Study of Sediment Transport Characteristics of the Mississippi River near Fox Island (RM 355-6) and Buzzard Island (RM 349-50), *IIHR Report*, No. 201, Iowa Institute of Hydraulic Research, 1977.
- 11) 吉川秀夫: 改訂河川工学, 朝倉書店, 1966.
- 12) 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.
- 13) 山本晃一: 構造沖積河川学—その構造特性と動態—第7章, 山海堂, 2004.
- 14) 河道計画検討の手引き, (財)国土技術研究センター編, 山海堂, 2002.
- 15) Nakato, T., and Vadnal, J. L.: Field Study and Test of Several One-Dimensional Sediment-Transport computer Models for Pool 20, Mississippi River, *IIHR Report*, No. 237, Iowa Institute of Hydraulic Research, 1981.

謝辞: 本研究を進めるに当たって、各地方整備局河川部河川計画課から資料の提供をいただいた。記して謝意を表する。

(2010. 4. 8受付)