

実河川の無次元流量・川幅・水深の関係についての一考察

株式会社オリエンタルコンサルタンツGC事業本部 正会員 井上 和則

1. はじめに

河道改修は現存する河道が計画高水流量を十分に疎通する能力を持たないために、拡幅や掘削、築堤によって河道の通水断面を増大させる形で行われる。この場合、掃流力のバランスについて十分な検討を行う必要がある。安定な河道断面形状についてレジーム論があるがこれらの式は個々の川について経験に基づいて導かれたもので一般的には成立しない¹⁾。

2. 無次元流量、川幅、水深についての一考察

(1) 実河川の無次元流量・川幅・水深の関係

福岡^{1) 2)}は国内外の河川の流量、勾配、河床材料の次元解析から支配流量に対応した自然の河道幅を物理的に解釈することに注目し、下記の関係式を提示している。ここで g :重力加速度、 I :河床勾配、 B :HWLでの水面幅(m)、 h :断面平均水深(m)、 Q :流量(m^3/s)である。

$$4.25 \left(\frac{Q}{\sqrt{g \cdot I \cdot d_r^5}} \right)^{0.40} = \frac{B}{d_r} \quad (1) \quad 0.13 \left(\frac{Q}{\sqrt{g \cdot I \cdot d_r^5}} \right)^{0.38} = \frac{h}{d_r} \quad (2)$$

福岡の使用したデータにおいて流量 Q は日本の河川では基本方針河道における計画流量、河床材料の代表粒径 d_r は基準地点のものである。一般に d_r は平面的な採取地点や採取方法によるばらつきがある。

しかし図-1で示す実績の河道データは、式(1)(2)の無次元流量が10の3乗~15乗という非常に広範囲に亘って両対数上で線形関係を示すことは興味深い。また、式(1)で無次元流量の0.40乗が無次元川幅に比例することも、既往のレジーム式を内在していると示唆される。

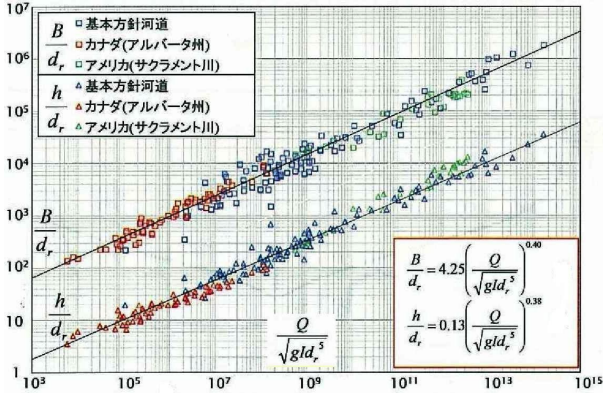


図-1 無次元流量・川幅・水深の関係²⁾

(2) 式(1),(2)の解釈について

式(1),(2)は、日本の近年の1級河川の基準点におけるデータと、アメリカおよびカナダの自然河川データから近似的に求められている。筆者は福岡の用いた河道データは未収集であるため、最初に日本の1974年の全国河川データ³⁾を矩形・複断面別にプロットし、福岡の式(1)と比較した(図-6)。式(1)はこのデータでも広範囲の無次元流量に対して十分に成立すると思われる。

式(1)から明らかのように、無次元流量に掛かる指数が0.40の場合、代表粒径 d_r は右辺と左辺で同じ次元と

なる。また、無次元水深の式(2)では、無次元流量の指数が0.38となっているが、近似を行う母集団のデータによっては、0.40と評価される場合もあると思われる。動的に安定な河道の川幅の決定には河床材料粒径が重要であることは周知の事実である。

そこで無次元流量に掛かる指数が仮に0.40であるとした場合の意味について以下考えてみた。最初に式(1),(2)を以下のように置き換える。

$$a \left(\frac{Q}{\sqrt{g \cdot I \cdot d_r^5}} \right)^{0.40} = \frac{B}{d_r} \quad (3) \quad b \left(\frac{Q}{\sqrt{g \cdot I \cdot d_r^5}} \right)^{0.40} = \frac{h}{d_r} \quad (4)$$

$Q=B \times h \times V$ とし、式(3)と式(4)の両辺を5/2乗し、 d_r を消す。ここで V は断面平均流速である。

$$\left(\frac{BhV}{\sqrt{g \cdot I}} \right) = \left(\frac{1}{a} \right)^{\frac{5}{2}} B^{\frac{5}{2}} \quad (5) \quad \left(\frac{BhV}{\sqrt{g \cdot I}} \right) = \left(\frac{1}{b} \right)^{\frac{5}{2}} h^{\frac{5}{2}} \quad (6)$$

摩擦速度 $U_* = \sqrt{ghI}$ 、 $V/U_* = \phi$ (流速係数) とすると

$$\left(\frac{Bh^{\frac{3}{2}}V}{\sqrt{g \cdot h \cdot I}} \right) = B \cdot h^{\frac{3}{2}} \cdot \phi = \left(\frac{1}{a} \right)^{\frac{5}{2}} B^{\frac{5}{2}} \quad (7) \quad \left(\frac{Bh^{\frac{3}{2}}V}{\sqrt{g \cdot h \cdot I}} \right) = B \cdot h^{\frac{3}{2}} \cdot \phi = \left(\frac{1}{b} \right)^{\frac{5}{2}} h^{\frac{5}{2}} \quad (8)$$

$$\phi = \left(\frac{1}{a} \right)^{\frac{5}{2}} \left(\frac{B}{h} \right)^{\frac{3}{2}} \quad (9) \quad \phi = \left(\frac{1}{b} \right)^{\frac{5}{2}} \left(\frac{B}{h} \right)^{-1} \quad (10)$$

$$\frac{B}{h} = \frac{a}{b} \quad (11)$$

つまり川幅水深比 B/h が式(3),(4)の無次元流量の係数比 a/b に等しくなっている。 $a=4.25$ 、 $b=0.13$ の場合は、 $B/h=32$ である。 b は、式(2)でべき乗指数が0.40に近づけば、実際には0.13より小さくなるが、図-1の縦軸切片の比から B/h は50前後と推察される。

日本の場合、 B/h が30~50程度の場合、通常の交互砂州が発生する河道である(図-2)。山本⁴⁾⁵⁾は、全国河川データを使って、代表粒径と U_*^2 の関係を示した(図-3)が、代表粒径が2cmから0.6mmの河川では粒径が異なっても U_*^2 があまり変化しない。このような区間は自然堤防帯の河川で、セグメント2-1ないし2-2とされている。河床の限界掃流力よりも河岸の耐浸食性が高いと言われている。式(9),(10)において流速係数を明示したが、図-4によるとこの粒径範囲では流速係数は約10である。式(9)で、 $\phi=10$ 、 $a=4.25$ とすると $B/h=52$ となり、更に式(10)より $b=0.08$ となる。式(2)で、指数を0.40、 $b=0.08$ としても図-1で違和感はない。つまり式(1),(2)は、 B/h が50程度の代表粒径が2cmから0.6mmの砂河川では粒径にあまり関わりなく支持されると解釈される。

ところが福岡の用いたカナダ国アルバータ州のデータは、代表粒径が19mm以上であり(図-3)、山本の図で U_*^2 が粒径と共に増加する範囲である。このデータでも図-1のように線形関係がある事実がある。

山本はアルバータ州の河川については、アーマコトのような河床を持っており、砂利河川ではあるが河道スケールを決める掃流力は河岸堆積物の耐浸食力に対応していると述べている。

キーワード 無次元流量、無次元川幅、無次元水深、扇状地、ラオアグ川、支配流量

連絡先 〒151-0071 東京都渋谷区本町3-12-1 住友不動産西新宿ビル6号館 電話03-6311-7893

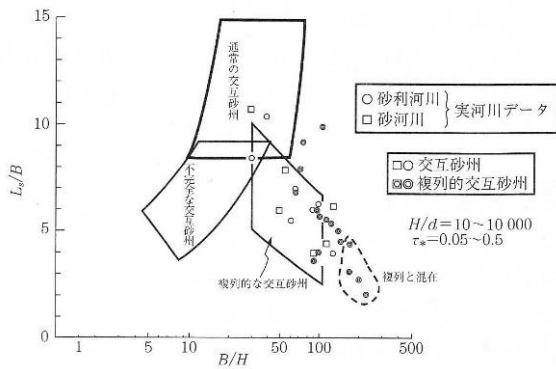


図-2 実河川のB/hと中規模河床形態⁵⁾

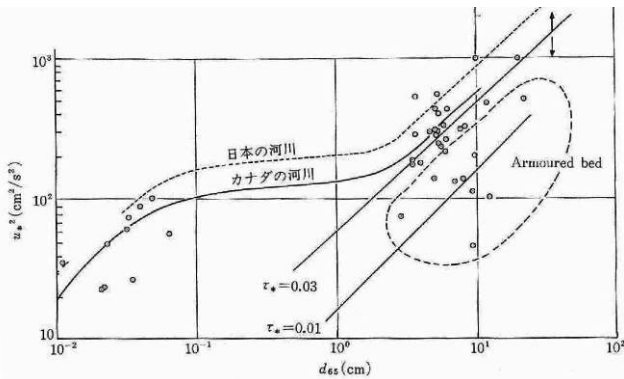


図-3 日本とカナダの河川のu_*^2と代表粒径の関係⁵⁾

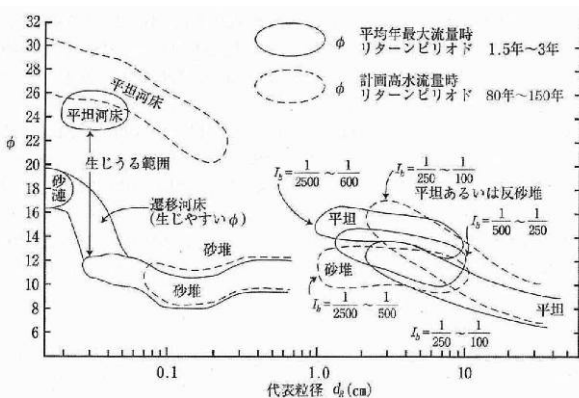


図-4 流速係数と代表粒径の関係⁵⁾

なお、山本によるとB/hは10~150の間に分布し、交互砂州あるいは多列砂州(中州、島)を呈している。

(3) フィリピンの扇状地河川の場合

筆者はフィリピン国ラオアグ川上流の扇状地の河道動態の考察^{6) 7)}を継続している(図-5)。対象の一部河川では計画流量からレジーム式で定められた堤間幅が工事後の洪水で広がる傾向を示しており、流域特徴から望ましい河道幅を設定できるかという課題がある。

ラオアグ川の3支川について、無次元流量と無次元川幅を改修前の河床材料d₅₀と堤間幅、計画流量(25年確率)で評価した(図-6)。3支川とも式(1)と平行な位置にプロットされるが、式(1)及び日本の河川よりもB/dが大きい、あるいは無次元流量が小さい位置にある。破堤がほとんど無かったソルソナ川、パパ川のB/dが上方に位置することは川幅が安定している意で理解しやすい。一方、マドンガン川は2008年洪水時に堤間幅よりも河道が広がる傾向であり、本来のBは更に大きいと思われ、プロット位置はこの図より上方ないし右上になるはずである。破堤を起こすような洪水流量を再評価

して、プロット位置が決まる。3支川のB/hは70前後であり、単列から複列の中規模河床形態を呈する。

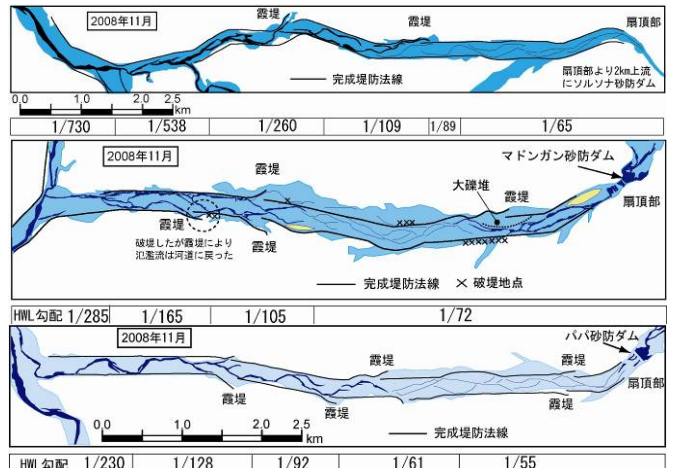


図-5 ラオアグ川上流域3支川の河道平面変化(上:ソルソナ川、中:マドンガン川、下:パパ川)

式(1)の上方に平行にデータが並ぶことは式(3)の係数aが増加し、同じ流速係数に対して式(9)からB/hの増加を意味する。砂河川以外でも式(1)、(2)の成立する事実を説明するにはB/hの明示があり、中規模河床形態の区分を加味することが重要と思われる。

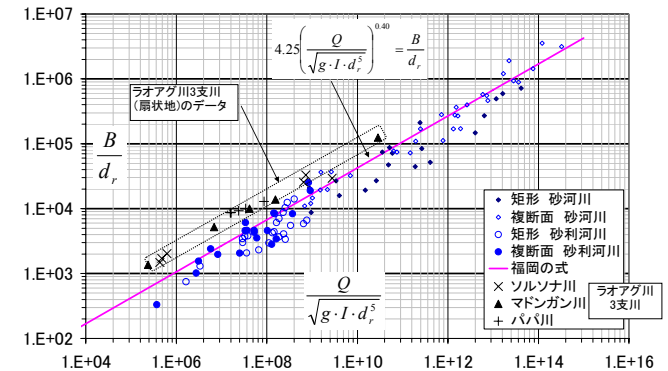


図-6 ラオアグ川3支川の無次元流量・川幅と式(1)との関係(凡例の砂河川、砂利河川は文献3のデータ)

3. 結び

式(1)、(2)は、べき乗の指数が0.40であることが一般化されると、沖積河川の知見からB/hが50程度の砂河川を少なくとも支持する式であると考えられる。しかしカナダや日本の砂利河川も支持される事実がある。扇状地のラオアグ川支川のデータが、式(1)に平行に並んだことは興味深い。今後他の砂礫河川やデルタでの適用性について更に考察したいと考えている。

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形の決め方, 水工学論文集第54巻, 2010.
- 2) 福岡捷二: 流域から見た河川の望ましい川幅・断面形—自然河川に学ぶ, 第140回河川文化を語る会講演資料, 2010. 1. 26
- 3) 建設省技術研究会: 全国河川粗度係数資料集, 日本河川協会, 1974
- 4) 山本晃一: 沖積河川の変動について, 河川文化を語る会講演集その十一、日本河川協会, 2003
- 5) 山本晃一: 沖積河川 構造と動態, 技報堂出版, 2010
- 6) 井上和則: 扇状無堤河川に築堤する場合の洪水による河道特性の変化, 水工学論文集第54巻, 2010
- 7) 井上和則: 扇状無堤河川の改修直後の台風洪水時における河道の動態に関する考察, 河川技術論文集第16巻, 2010 (投稿中)