

II-57

河道の平衡縦断形状に関する研究

北海道大学工学部	学生員	酒井 匠
北海道大学工学部	正 員	黒木 幹男
北海道開発局	正 員	岡部 和憲
北海道大学工学部	正 員	板倉 忠興

1. はじめに

安定な河道形状を知することは、河川計画をする上で重要なことであり、これまでも多くの研究がなされている。

黒木ら¹⁾は、安定横断形状についての式を導入することにより、動的平衡状態における I_e (エネルギー勾配) と Q (流量) の関係を次式で表した。

$$I_e = C Q^{-6/7} \quad (C : \text{定数})$$

さらに I_b (河床勾配) $\cong I_e$ とし、 $Q(x)$ の関数形を与えることによって河床の平衡縦断形状を求めた。また同時に h (水深)、 d (平均粒径)、 B (川幅) も x の関数として表されることを示した。(但し x : 流下方向に測った水平距離)

本研究では、黒木らの理論式と道内諸河川の実測値を比較し、流量の縦断変化から河床高をはじめとする諸量を推測し得るかの検討を行った。また混合粒径の効果を考慮し、黒木らの式に改良を加えた。

2. 黒木らの式

基礎方程式は次の式 (1) ~ (5) である。

$$q_b B = C_1, \quad \frac{q_b}{\sqrt{s g d^3}} = a_0 (\tau_* - \tau_{*c})^{3/2} \quad (1), (2)$$

$$\tau_* = \frac{h I_e}{s d} = C_2, \quad \phi = \frac{Q}{B h \sqrt{g h I_e}} = 6.9 \left(\frac{h}{d} \right)^{1/6} \quad (3), (4)$$

$$\frac{1}{2g} \frac{d}{dx} \left(\frac{Q}{B h} \right)^2 + \frac{dh}{dx} = I_b - I_e \quad (5)$$

但し C_1 : 定数, q_b : 単位幅・単位時間当たりの流砂量, τ_* : 無次元河床せん断力, τ_{*c} : 無次元限界せん断力, s : 河床砂礫の水中比重, a_0 : 定数, C_2 : 定数, g : 重力加速度
式 (3) は安定横断形状について成立する式である。⁴⁾ 但しこれは一様粒径に対する式である。

以上の式に流量を

$$Q = Q_0 \exp(qx) \quad (6)$$

と仮定し、 $I_b \cong I_e$ が成り立つとすると、河床の平衡縦断形状を求める式 (7) が得られる。

$$Z = Z_0 - C_1 Q_0^{-6/7} \frac{L}{a} \{1 - \exp(-a\xi)\} \quad (7)$$

但し q : 定数, Z : 河床高, L : 流路長, $a = \frac{6}{7} q L$, $\xi = \frac{x}{L}$, 添字 0 は上流端の値

また、水深、平均粒径、川幅は次式で与えられる。

$$\frac{h}{h_0} = \frac{(1+b) \exp\left(\frac{2}{3} a \xi\right)}{1+b \exp\left(\frac{2}{3} a \xi\right)}, \quad \frac{d}{d_0} = \left(\frac{B}{B_0}\right)^{-2/3} = \frac{(1+b) \exp\left(-\frac{1}{3} a \xi\right)}{1+b \exp\left(\frac{2}{3} a \xi\right)} \quad (8), (9)$$

但し $b : C_3 Q_0^{4/7}$, $C_3 : C_1$ によって決まる定数、添字 0 は上流端の値

3. 理論式と実測値の比較

理論式との比較には、道内の一級河川のデータを用いた。⁵⁾ (但し、釧路川の流量については流量年表⁶⁾の値を用いた。) 理論式中の定数を決定するためには、流量を与えなければならない。そのためには観測点の数が多い方が有利であるため、基本的に観測点が2点以上の河川を対象にした。ここで実際に比較を行った河川を表-1に示す。本研究では、平均粒径が2mm以上となる区間を対象とした。これは黒木らの式が礫床河川について導かれたものであり、浮遊砂の卓越する大河川の河口付近などに適用するのは難しいと予想されるためである。また、流量の縦断変化から諸量を推測するという目的から、流量が不連続に変化する点では必然的に区間を分けることになる。

では次に、具体例について見ることにする。以下の図では○が実測値、実線が黒木らの理論式を表している。(但し図-1の実線は q と Q_0 を決定するために引いたものである。)

図-1～図-5はそれぞれ湧別川の平均年最大流量、河床高、水深、平均粒径、低水路幅の縦断変化を表した図である。図-2～図-5を見ると、全ての量についてほぼ黒木らの理論曲線で表現できていることが分かる。

ところで、図-6と図-7はそれぞれ十勝川の水深と低水路幅の例であるが、両図の黒木らの曲線を見ると、水深は下流側で実測値よりも小さな値になりすぎており、反対に低水路幅は下流側で実測値よりも大きな値になりすぎている。この点について次に考察する。

4. 考察

黒木らの式に於いて、 d は平均粒径として扱われているのに対し、ここでは混合粒径を考慮する。混合粒径の無次元掃流力はEgiazaroffの式より

表-1 比較を行った河川

河川名	対象区間(KP)	黒木式の適否	備考
石狩川	50-138	—	H
石狩川	155-202	○	
夕張川	20-44	○	
忠別川	1-33	—	d
美瑛川	1-45	—	d
十勝川	25-100	—	B, H
利別川	1-43	—	B
釧路川	35-76	—	B
網走川	30-49	○	
常呂川	0-87	—	Z, B
湧別川	0-31	○	
天塩川	54-179	—	H
天塩川	179-216	○	

※但し備考欄は、あまり良い一致を示さなかった量であり、それ以外の量は一致した。

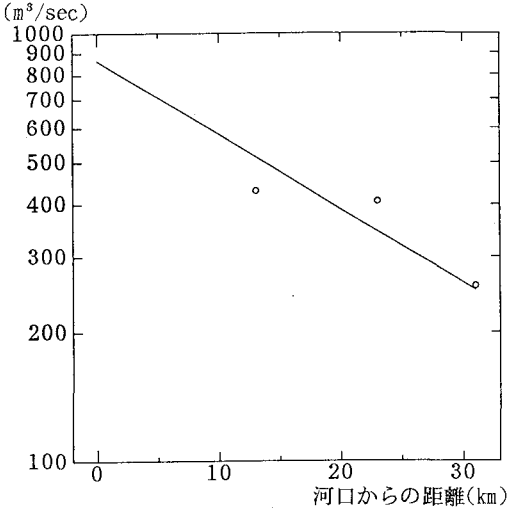


図-1 流量の縦断変化(湧別川の例)

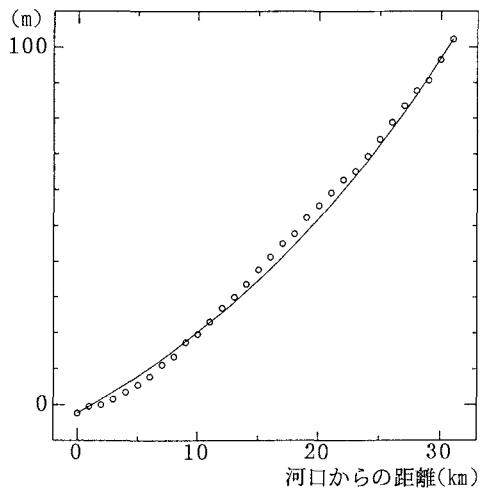


図-2 河床高の縦断変化 (湧別川の例)

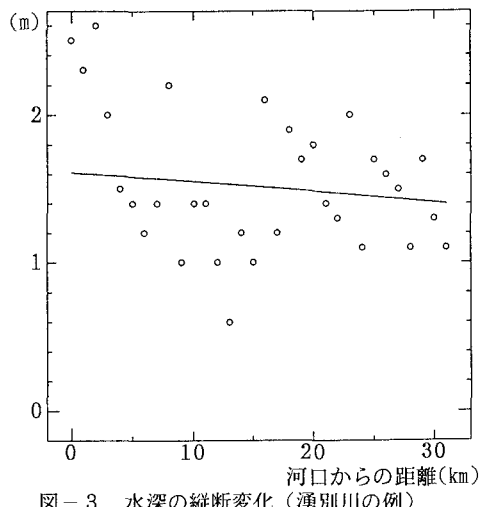


図-3 水深の縦断変化 (湧別川の例)

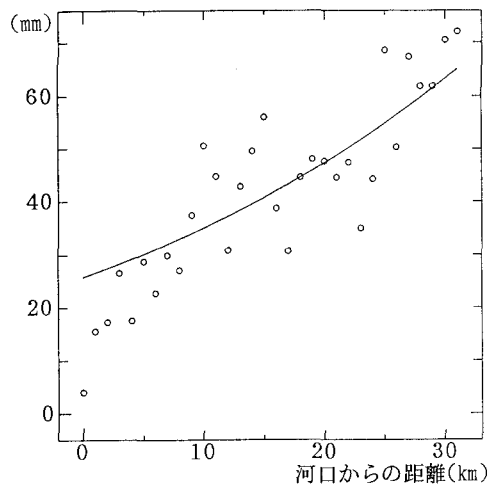


図-4 平均粒径の縦断変化 (湧別川の例)

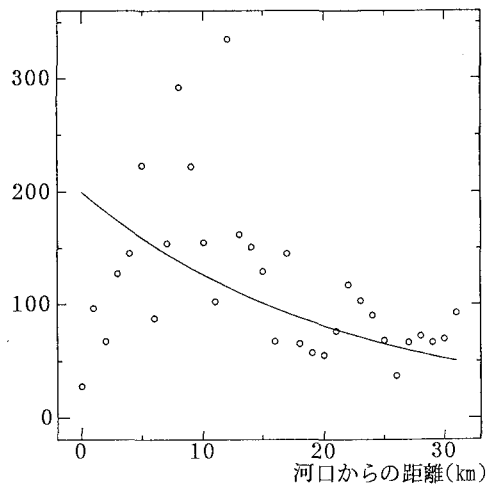


図-5 低水路幅の縦断変化 (湧別川の例)

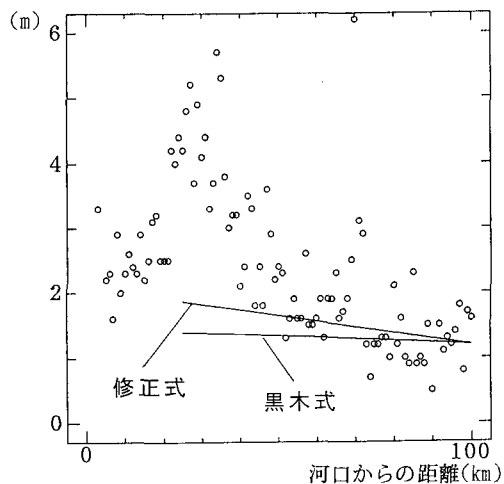


図-6 水深の縦断変化 (十勝川の例)

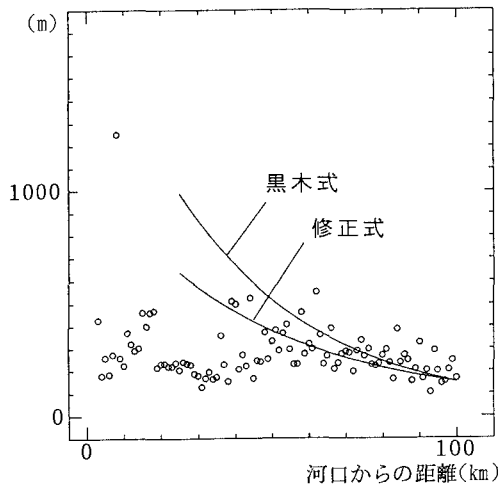


図-7 低水路幅の縦断変化 (十勝川の例)

$$\tau_{*c} = \frac{A}{\left[\log_{10} \left(19 \frac{d_i}{d_{50}} \right) \right]^2}$$

で与えられる。(但し d_{50} : 50%粒径, A : 定数)

本研究では、 $d_i/d_{50}=1$ の時に $\tau_{*c}=0.05$ となるように $A=0.08176$ を用いる。黒木らの式は $d_i/d_{50}=1$ の時に一致するわけだが、ここでは d_i の値として d_{90} (90%粒径) を用い、これを式(2), (3)に適用する。また式(4)の抵抗則で用いる粒径を d_{90} で与える。

以上により式(8), (9)が次のように書き直される。

$$\frac{h}{h_0} = \frac{(\sigma^{6/7} + b) \exp\left(\frac{2}{3} a \xi\right)}{\sigma^{6/7} + b \exp\left(\frac{2}{3} a \xi\right)} \quad (10)$$

$$\frac{d}{d_0} = \left(\frac{B}{B_0}\right)^{-2/3} = \frac{(\sigma^{6/7} + b) \exp\left(-\frac{1}{3} a \xi\right)}{\sigma^{6/7} + b \exp\left(\frac{2}{3} a \xi\right)} \quad (11)$$

$$\text{但し } \sigma = d_{90}/d_{50}$$

これらの式を図示したものが図-8~10である。これによると σ が大きくなるにつれ、水深の縦断変化が大きくなり、粒径、低水路幅の縦断変化が大きくなることが分かる。この式を十勝川に適用してみると、図-6, 7に示すように、ある程度修正できたことが分かる。

5. まとめ

黒木らの式は、流量から平衡状態の河床高、水深、平均粒径、低水路幅を推測するという目的をほぼ達成しているようである。また、下流側で大きな差異が出てくる点については、考察で述べたように混合粒径の効果を考慮することにより、ある程度修正できた。

《参考文献》

- 1) 黒木幹男, 岡部和憲, 板倉忠興: 河道の安定縦断形状について, 第47回年次学術講演回概要集第2部, PP. 94-95, 1992
- 2) 黒木幹男, 岡部和憲, 板倉忠興: 支川を有する河道の安定縦断形状について, 第48回年次学術講演回概要集第2部, PP. 508-509, 1993
- 3) 板倉忠興, 黒木幹男, 森明巨: 安定河道縦断形状について, 北海道大学委託研究報告書, 北海道開発局 PP. 74-84, 1992
- 4) 池田俊介, G. Parker, 千代田将明, 木村善孝: 直線礫床河川の動的安定横断形状とそのスケール, 土木学会論文集 No. 375/II-6, PP. 117-126, 1986
- 5) 河相と河道構造計画に関する研究(第2報), 第26回北海道開発局技術研究発表会, PP. 407-426, 1983
- 6) 流量年表, 日本河川協会, 1983-1993

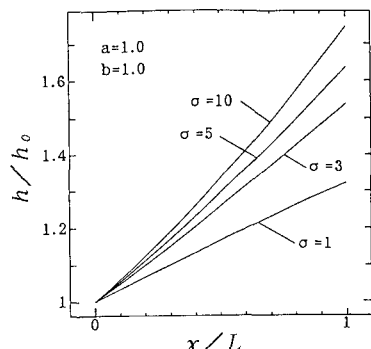


図-8 σ を考慮した水深の縦断変化

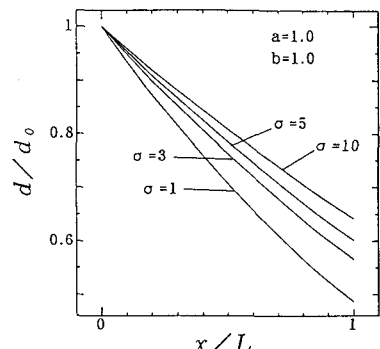


図-9 σ を考慮した粒径の縦断変化

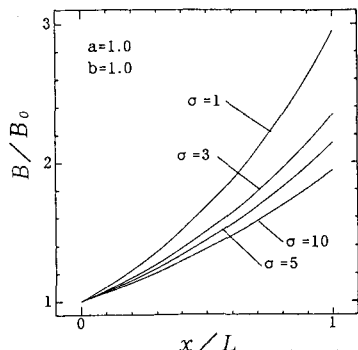


図-10 σ を考慮した低水路幅の縦断変化