

安定河道理論からみた河口水深の研究

Study on river mouth water depth analysis by steady river theory

北海道大学大学院

○学生員 今瀬幹太 (Kanta Imase)

北海道大学大学院

フェロー 黒木幹男 (Mikio Kuroki)

1. はじめに

現在いくつかの河川において河口部で起こる問題の一つに河口閉塞が挙げられる。これは、河口において川と海の現象が重なり干渉し合っ河口特有の非線型現象が生じることで、河川の流送土砂が掃流力の減少することによって、河口付近で沈殿、堆積した結果、または海岸の飛砂、漂砂によって河口が閉塞する現象である。このため堆積した土砂を人工的に取り除いたり、導堤流等の突堤の建設、河口の付換え等といった、対策が行われようとしている。浚渫等の工事が行われたときに維持できるかどうか、また行われなかったときに維持可能かどうかを検討するため、本研究では大部分の河川には、流量、流砂量等の変化に応じて流路の形状を調整し、その縦横断形状に一種の安定性があるとして安定河道理論を用いて、日本海に通じる後志利別川、尻別川の2河川、太平洋に通じる釧路川、沙流川の4河川を取り上げ実際の河床高と安定河道縦断形の理論から導出した河床高を比較検討した。

2. 安定縦断理論による計算

本研究では基礎式として以下の式を用いた。

まず特定の支配流量 Q を対象に、流れの運動方程式を次式のように表現した。

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

流れの抵抗則式は指数型の式を用いた。

$$\frac{Q}{Bh\sqrt{ghI}} = 6.9 \left(\frac{h}{d} \right)^{\frac{1}{6}}$$

平衡状態における流砂の式は次式で表した。

$$Q_B(x) = q_B B$$

流砂量式はマイヤーピーターミューラー式から

$$\frac{q_B}{\sqrt{sgd^3}} = 8(\tau_{*c} - \tau_*)^{\frac{3}{2}}$$

本研究では次式の無次元掃流力式を基礎式として用いている。

$$\tau_* = \frac{hl_c}{sd} = \beta \tau_{*c}$$

ただし、 $g(=9.8)$ は重力加速度、 $s(=1.65)$ は河床材料の水中比重、 $\tau_{*c}(=0.05)$ は河床材料の移動限界掃流力、 d は河床材料の平均粒径、 q_B は単位幅、単位時

間あたりの流砂量、 h は水深、 B は川幅、 Q は流量、 Q_B は流砂量、 I_b は河床勾配、 I_e はエネルギー勾配、 $\beta(=1.23)$ は定数。

これらの式より水深縦断形 h が定まる。

$$h = \frac{A}{1 + \frac{c_2^2}{2g} \left(\frac{Q}{Q_B} \right)^{\frac{-4}{7}}}$$

ここで A は積分定数となっており、次式で表される。

$$A = h_0 \left\{ 1 + \frac{c_2^2}{2g} \left(\frac{Q_0}{Q_{B0}} \right)^{\frac{-4}{7}} \right\}$$

ここで c_1 、 c_2 は定数でそれぞれ次式のように表される。

$$c_1 = \left\{ \frac{8\sqrt{s}(\beta-1)^{\frac{3}{2}} \tau_{*c}^{\frac{3}{2}}}{6.9(\beta \tau_{*c})^{\frac{3}{2}}} \right\}^{\frac{-6}{7}} = 8.426173627$$

$$c_2 = 8\sqrt{sg} \left(\frac{\beta-1}{\beta} \right)^{\frac{3}{2}} c_1^{\frac{3}{2}} = 30.01917642$$

また、これを用いて粒径縦断形 d 、川幅縦断形 B を求めた。

$$d = \frac{A}{\beta \tau_{*c}} \frac{c \left(\frac{Q}{Q_B} \right)^{\frac{-6}{7}}}{1 + \frac{c_2^2}{2g} \left(\frac{Q}{Q_B} \right)^{\frac{-4}{7}}}$$

$$B = \frac{Q_B}{8\sqrt{sg}(\beta-1)^{\frac{3}{2}} \tau_{*c}^{\frac{3}{2}}} d^{\frac{-3}{2}}$$

また本研究では疑似等流と仮定し $I_b = I_e$ としている。ここで黒木らは流量の縦断分布 Q を比較的多くの流域に適合する指数分布で仮定した。また流砂量の縦断分布 Q_B も流量同様、指数分布で仮定した。

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

$$Q_B = Q_{B0} \exp(q_B x)$$

ただし Q_0 は上流端の流量、 Q_{B0} は上流端の流砂量。

また河床縦断面形に関しては次式を積分した形で表せる。

$$\frac{dz}{dx} = \left\{ 69(s\tau_{sc})^{\frac{5}{3}} \sqrt{g} c_3 \right\}^{\frac{6}{7}} \left(\frac{Q_b}{Q} \right)^{\frac{6}{7}}$$

ここで c_3 は既知の定数

$$c_3 = \frac{1}{8\sqrt{sg}(\tau_s - \tau_{sc})^{\frac{2}{3}}} = 25.20625078$$

これらより水位縦断面形 H (河岸高縦断面形) が定まる。

$$H = h + z$$

3. 実河川への適用

本研究では支川の合流やダム等の構造物の影響が小さいと考えられる範囲を対象とし、各河川において流量観測所から得た年最大流量から流量縦断面形を決定し、そこから定まった q , Q_0 より、粒径縦断面形、川幅縦断面形、河岸高縦断面形、の各縦断面形が資料に合うように Q_{B0} , q_b , A を決定した。本研究では支配流量として年最大流量の平均を用いておりパンクフルの状態に対応している。従って以下の計算では水位縦断面形 H は河岸高の資料値を最も反映しているようなパラメータを用いた。

(a) 鷺川

鷺川は本研究では河口より 8.1Km で合流しているモイバツ川より下流域を適用範囲として研究を進めていった。鷺川においては、流量は鷺川流量観測所 (河口から 2.55Km)、栄流量観測所 (河口から 25.98Km)、穂別流量観測所 (河口から 41.1Km)、の各観測所から得た年最大流量の平均を用いた。川幅は 1/50000 地形図から得た値を用いた。粒径はふるいわけ試験 (1Kp おき) による平均粒径を用いた。平均河床高、河岸高の値は横断面 (0.2Kp ずつ) から用いた。これらの資料値をもとに鷺川の、粒径縦断面形、川幅縦断面形を図 1、2 に示す。

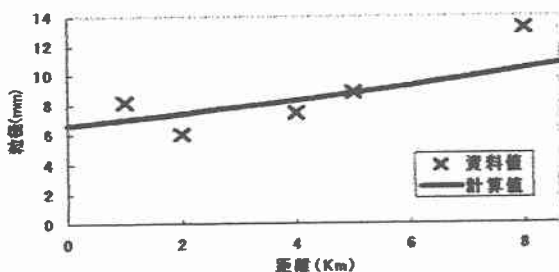


図-1 鷺川粒径縦断面形

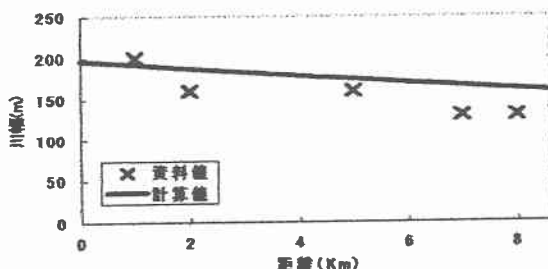


図-2 鷺川川幅縦断面形

ここで×印は資料から得られた値、実線は計算値を示している。

(b) 後志利別川

後志利別川においては本研究では河口より 11.3Km 地点で合流している利別目名川までを適用範囲とした。後志利別川に関しては大富流量観測所 (河口から 7.55Km)、今金流量観測所 (河口から 16.1Km)、住吉流量観測所 (河口から 26.25Km)、花石流量観測所 (河口から 42.2Km)、から年最大流量の値を得て、川幅は 1/50000 地形図から得た値を用いた。粒径はふるいわけ試験 (1Kp おき) による平均粒径を用いた。平均河床高、河岸高の値は横断面 (0.2Kp ずつ) から用いた。以上の資料値から得た粒径縦断面形、川幅縦断面形を図 3、4 に示す。

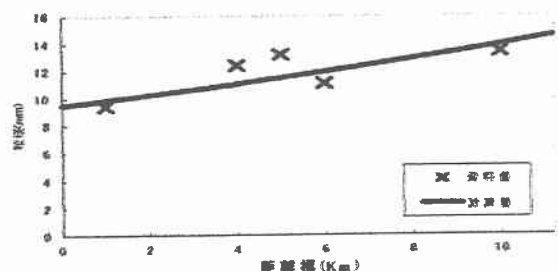


図-3 後志利別川粒径縦断面形

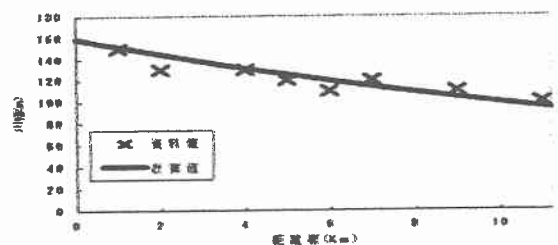


図-4 後志利別川川幅縦断面形

(c) 尻別川

尻別川では本研究では河口より 17.1Km 地点の逆川合流点までを適用範囲として研究を行い、年最大流量は名駒流量観測所 (河口から 9.3Km)、蘭越流量観測所 (河口から 18.4Km)、による値を用い、粒径、川幅に関してはふるいわけ試験 (1Kp おき) による平均粒径と 1/50000 地形図から得た値を用いた。平均河床高、河岸高の値は横断面 (0.2Kp ずつ) から用いた。以上より図-5, 6 にそれぞれ粒径縦断面形、川幅縦断面形を示す。

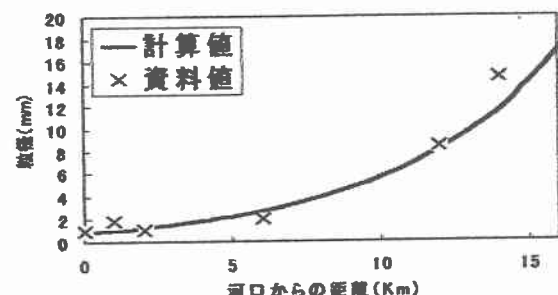


図-5 尻別川縦断面形

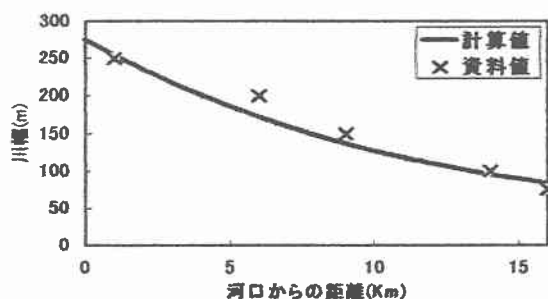


図-6 尻別川川幅縦断面形

(d) 沙流川

沙流川においては本研究では河口から 21.37Kmにある二風谷ダムまでを適用範囲として研究を行った。流量は富川流量観測所（河口から 2.8Km）、平取流量観測所（河口から 15.5Km）、振内流量観測所（河口から 40.5Km）におけるそれぞれ年最大流量の平均値を用いた。粒径は北海道開発協会の資料⁽²⁾による平均粒径を用いた。川幅は 1/50000 地形図から得た値を用いた。平均河床高、河岸高の値は横断面図（0.2Kpずつ）から用いた。以上から鶴川、後志利別川、尻別川と同様に、図-7、8に粒径縦断面形、川幅縦断面形を示す。

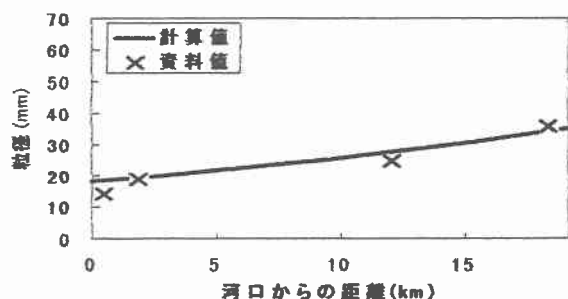


図-7 沙流川粒径縦断面形

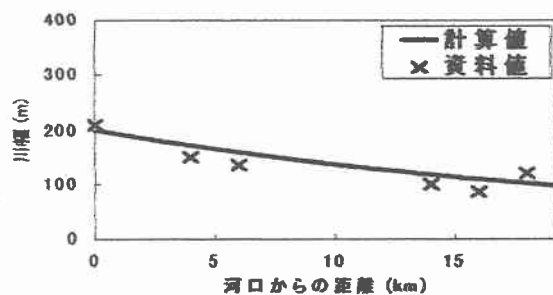


図-8 沙流川川幅縦断面形

4. 考察

鶴川、後志利別川、尻別川、沙流川の4河川において、粒径、川幅の資料値をもっとも反映しているようなパラメータ Q_{D0} , q_b , A を決定した結果得られた河床高、河岸高縦断面形を以下に示す。以下の図において、△印は河岸高の資料値、×印は河床高の資料値を表しており、安定河道縦断面形の理論から導出した河床高計算値、河岸高計算値は実線で表している。

(a) 鶴川

鶴川は、今回研究した4河川の中では安定河床縦断

形と実際の河床縦断面形に最も差が無かった。すなわち解析の範囲内では4河川の中では最も安定した状態の河川と言える。本解析の結果では鶴川は 2.8m付近が維持可能な河口の水深と考えられ、図-9の下に河口部の写真を示しておく。

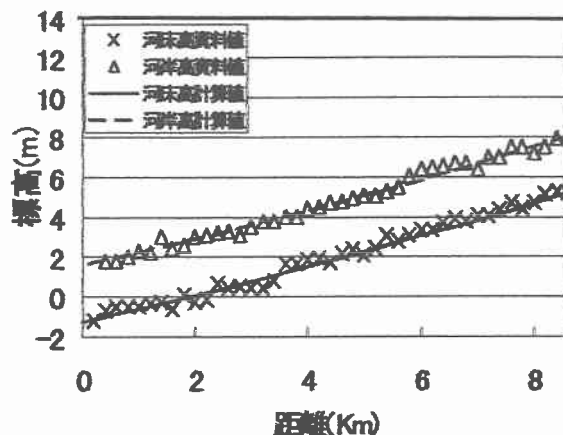


図-9 鶴川河床高、河岸高縦断面形



(b) 後志利別川

後志利別川に関しては河口部で安定河床縦断面形と実際の河床縦断面形に差が出たものの、今回の適用範囲全般では、あまり差が無いことがわかった。河口部における資料値の河床高の変化は砂州の存在および、川幅が広がったためと思われる。従って解析の範囲内では比較的安定した河川であるといえる。後志利別川では、3.2m前後で安定すると考えられる。

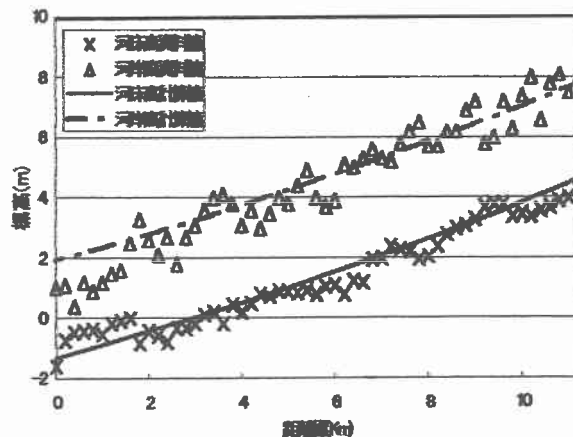


図-10 後志利別川河床高、河岸高縦断面形



(c) 尻別川

尻別川は本研究での適用範囲では、全体的に緩勾配であり、河口より1Km～2Kmの間で河床高が上がっているのは下の写真上部の中州に起因するものと思われる。しかし適用範囲全体では安定河床縦断形と実際の河床縦断形に大きな差が無く、比較的安定した河川と言える。今回の解析では3.4m付近で落ち着くものと考えられる。

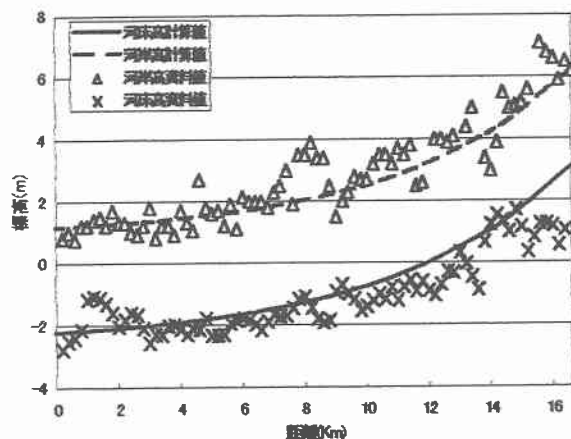


図-11 尻別川河床高、河岸高縦断形



(d) 沙流川

沙流川は本研究の適用範囲では、全体的に急勾配であり、河口部では全体的に河床高は資料値が計算値を上回っているが、これは写真からもわかるように河口部に多く存在する砂州によるものと思われる。しか

し、適用範囲全体では上の3河川同様に安定河床縦断形と河床縦断形に大きな差が無く、比較的安定した河川と言える。本解析の結果では沙流川では1.9mを中心とする値が維持可能な河口水深と考えられる。

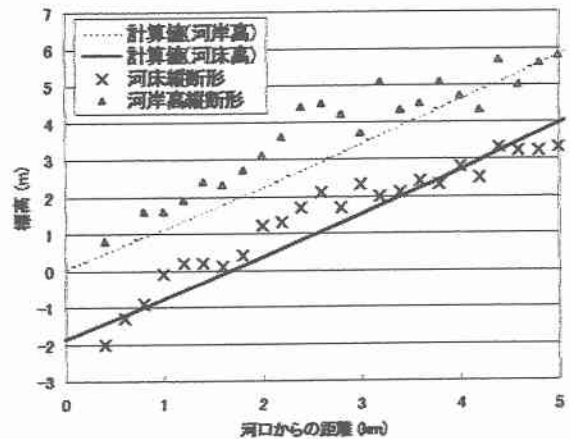


図-12 沙流川河床、河岸高縦断形



5. まとめ

本研究では鶴川、後志利別川、尻別川、沙流川の4河川を対象河川として進めていった結果、4河川全てにおいて今回の適用範囲内では、所々計算値と資料値に差がある所があったが全体的には比較的安定した河川と言える。従って本研究の結果からは、今回の対象河川に関しては浚渫等の工事による効果は一時的には見込めるが、長期間維持していくのは難しいと思われる。

6. 参考文献

- 1) 黒木・板倉；安定河道縦断形状に関する研究，土木学会水工学論文集
- 2) 北海道開発協会；沙流川河床変動・粒度変動検討報告書，昭和55年度
- 3) 山本 徹；安定河道理論による流域の土砂生産の評価