

河道安定理論に基づいた流砂量縦断分布に関する研究

Study on sediment transport longitudinal distribution by steady river theory.

北海道大学大学院 ○学生員 広田隆司(Takashi Hirota)
北海道大学大学院 フェロー 黒木幹男(Mikio Kuroki)

1. はじめに

河道の安定を議論する場合、静的安定と動的安定の2通りの考え方がある。前者では、河床材料が全く移動しない静止した状態を想定しており、移動床である実河川に適用するのは難しいと思われる。後者については、侵食量と堆積量が等しい状態が厳密に成り立つと考えると、やや難しいと思われるが、ほぼ等しいという状態を想定すると、実状に合った考え方といえる。本研究では土砂の移動を前提とするより実態に近い動的安定という立場をとる。但しここでいう安定とは厳密な意味でなく、正味の河床変動が少ないという意味あいを持たせている。これまで安定な河道の縦断形を知るために多くの試みがなされてきた。そこで、本研究では黒木山本等による安定河道理論をもちいることとする。安定河道理論を用いて実際に日本の比較的急流な地域にあり、安定しているとはいいがたい河川と比較的緩流な地域にあり、安定しているといえる河川を比較し流砂量の増加率にどのような違いがあるかを調べてみた。

2. 計算式

特定の支配流量 Q を対象に、流れの運動方程式を次式の用に表現する。

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

但し、 B : 水路幅、 h : 水深、 $I_b = dz/dx$: 河床勾配、 z : 基準面から測った河床高、 x : 流下方向にとった距離、 I_e : エネルギー勾配であり抵抗則より求められる。

流れの抵抗則式は指数型の抵抗則式をもちいることとする。

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

d : 河床材料の平均粒径。

平衡状態における流砂の式は

$$q_B B = Q_B(x)$$

ただし、 q_B : 単位幅、単位時間あたりの流砂量、 $Q_B(x)$: 流砂量

流砂量式はマイヤーピーターミューラー式から

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

ただし、 $s(=1.65)$: 河床材料の水中比重、 $\tau_{*c}(=0.05)$: 河床材料の移動限界掃流力

また、安定横断形状の解析から得られた次の式も解析に導入する。

$$\tau_* \left(= \frac{hI_e}{sd} \right) = C_1 (Const)$$

ただし、 $C_1 = 1.23 \tau_{*c}$

これらの式を用いて導くと、エネルギー勾配を流量と流砂量の関数として表すことが出来る。

$$I_e = \left[\frac{6.9(sC_1)^{\frac{5}{3}} \sqrt{g} C_2 Q_B}{Q} \right]^{\frac{6}{7}} = C_3 \left(\frac{Q_B}{Q} \right)^{\frac{6}{7}} = C_3 \left(\frac{Q}{Q_B} \right)^{-0.86}$$

また、ここでエネルギー勾配=河床勾配が成り立つ場合上式により、流量と流砂量の関数形が与えられれば積分することにより安定河床高縦断形状が求められる。

ここで流量、流砂量の指数分布を下式の用に仮定する。

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

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

境界条件は

$$z = z_*, x = 0$$

$$z = 0, x = L$$

とし上の式を積分すると次式を得る。

$$\frac{z}{z_*} = \frac{\exp\{-a\xi\} - \exp\{-a\}}{1 - \exp\{-a\}}$$

ただし、 z_* : 上流端と下流端の高低差、 L : 流路長。

$a = 6/7(q - q_s)L$ 、 $\xi = x/L$ とする。

$a \geq 0$ の範囲で a の値を変化させて実際の河川の縦断形に近い近似曲線になるような値 a を見つけそれをも

とに q_s を推定する。

3. 実流域への適用

適用流域として我が国でも有数な急流河川の天竜川、大井川。また比較的緩流河川である、北海道の沙流川を今回の適用範囲とする。流砂量を推定するにあたり、流量の縦断分布を実流域の流量観測所から読み取る。また地形図から河床高の縦断形を読み取り、これらをもとに q_s の値を求める。

a) 天竜川

天竜川は流域面積 5090 km^2 、幹川河道長 213 km の我が国でも有数な急流河川である。天竜川水系一帯には、各時代の堆積層や各種の火成岩、これから変成した変成岩類が広く分布している。また、上流域には中央構造線、糸魚川-静岡構造線などの構造線が何本も走っていることに加えて、険しい地形のため山が崩れやすく、流れ出る土砂の量の膨大さも我が国有数の河川である。



図-1 天竜川流域図

図-1 に示すように天竜川には河口から鹿島流量観測所、宮ヶ瀬流量観測所、伊那流量観測所、伊那富流量観測所がそれぞれ 25 km 、160.7 km 、193.4 km 、210.6 km に存在する。また諏訪湖から下流部を対象流域とした。

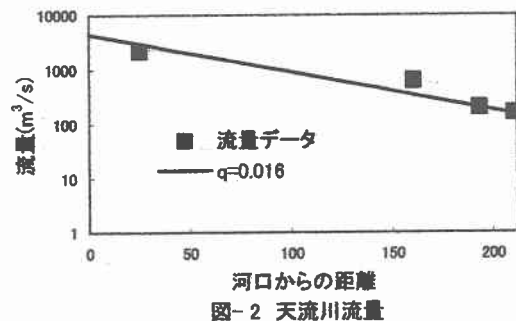


図-2 天竜川流量

図-2 は流量の縦断分布である。■が実測値で直線は最小二乗法で近似されたものである。ここで y 軸は対数表示を用いている。直線の傾きから流量の増加係数 q が決定する。当然 a の値も決まる。次に、地形図から得た河床高縦断形に上流部、下流部それぞれに先程

用いた計算式を適合させ a が決定する。そのことにより、流砂量の増加係数 q_s の値を得ることが出来る。しかし天竜川はダム等によって縦断形が著しく変化する地点が多いため流域を 5 箇所 (0~28.69 km 、53.48 km ~72.67 km 、122.62 km ~153.41 km 、153.41 km ~170.12 km 、173.63 km ~211.88 km) に区切り、それぞれの区間で縦断形の近似曲線を求めた。その中で下流部、中流部、上流部を代表として表示する。図-3~5 がそれである。

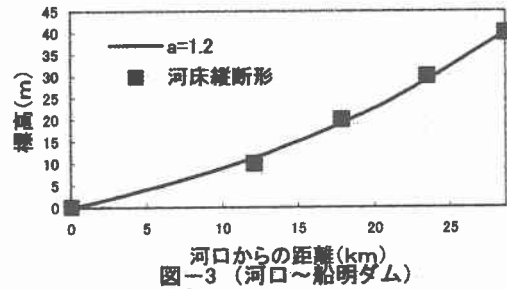


図-3 (河口~船明ダム)

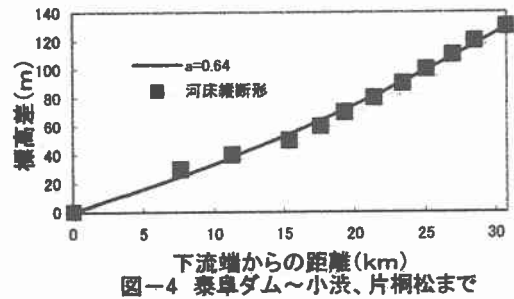


図-4 泰阜ダム~小沢、片桐松まで

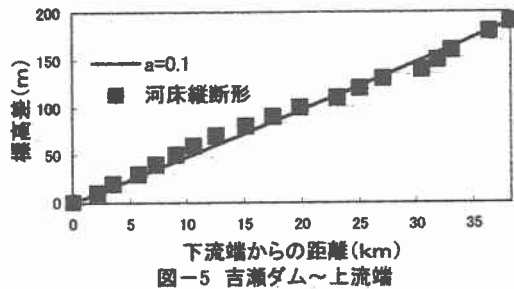


図-5 吉瀬ダム~上流端

図-3~5 よりそれぞれで a が決定する。そうすると先に述べたように、それぞれの区間で q_s の値が求まる。これを次の図-6 に示す。但しここで横軸は幹線流路長を 1 とおいたときの値を用いている。

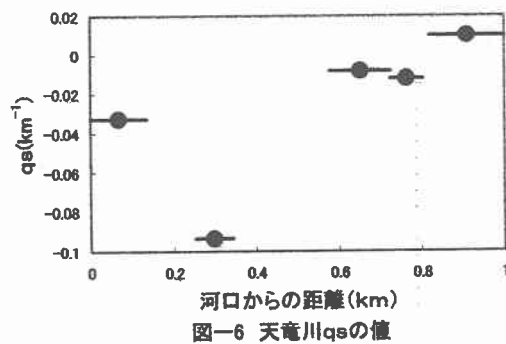


図-6 天竜川 q_s の値

b) 大井川

大井川は流域面積 1280 km^2 、幹線河道長 168 km で流路長のわりに流域面積の少ない流域である。流域は、年間雨量 $2000 \text{ mm} \sim 3000 \text{ mm}$ の多雨地帯である。大井川流域は、糸魚川-静岡構造線と中央構造線に挟まれているため、脆弱な岩質の所が多く随所に大きな崩壊地が見られる。



図-7 大井川流域図

図-7 に示すように大井川は河口から神座流量観測所、井川ダム、第一畑薙ダムがそれぞれ 23.5 km 、 106.5 km 、 131.1 km に存在する。ここが流量のデータを得た所である。

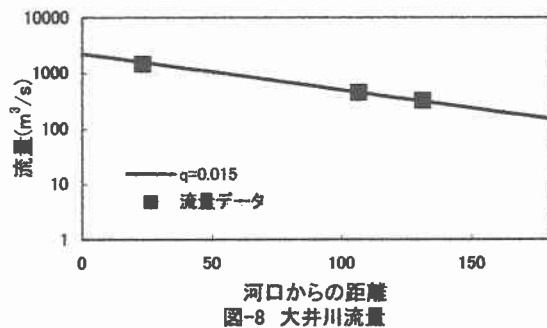


図-8 大井川流量

ここでも天竜川と同様にして、計算を進める。但し大井川も天竜川と同様にダム等で大きく縦断形が変化するため流域を5箇所 ($0 \sim 37 \text{ km}$ 、 $37 \text{ km} \sim 82 \text{ km}$ 、 $82 \text{ km} \sim 103.1 \text{ km}$ 、 $114.4 \text{ km} \sim 127.4 \text{ km}$ 、 $136.4 \text{ km} \sim 179.4 \text{ km}$) に区切り、それぞれの区間で縦断形の近似曲線を求めた。その中の下流部、中流部、上流部を図-9～11に示す。

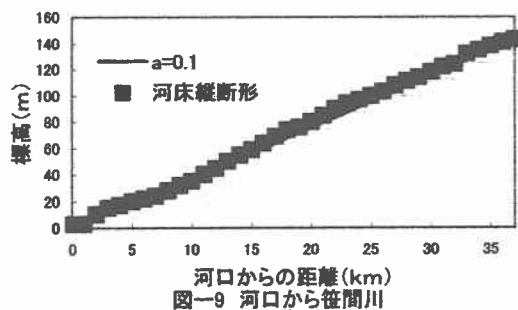


図-9 河口から笹間川

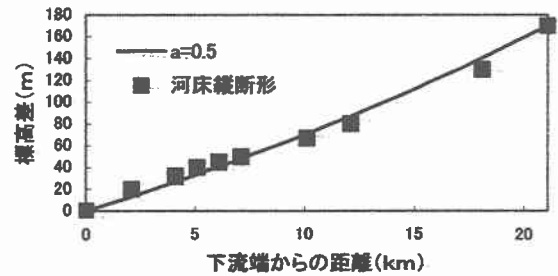


図-10 大井川ダムから奥泉ダム

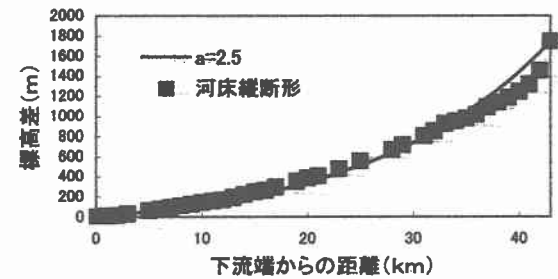


図-11 畑薙第一ダムから上流

天竜川と同様にして出した qs の値を図-12で示す。

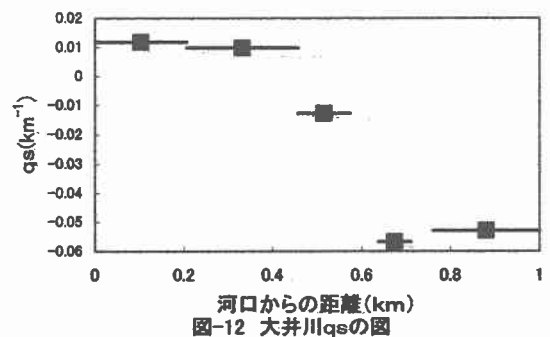


図-12 大井川qsの図

c) 沙流川

沙流川は北海道にある流域面積 1350 km^2 、幹線流路長 104 km の河川です。沙流川は上流部のデータが少ないため、岩薙志ダムを上流端において検証した。



図-13 沙流川流域図

図-13 に示すように沙流川は河口から富川流量観測所、平取流量観測所、振内流量観測所がそれぞれ河口から 2.8 km、15.5 km、40.5 km が存在する。これをもとに天流川、大井川と同様にして流量の近似曲線を求める。

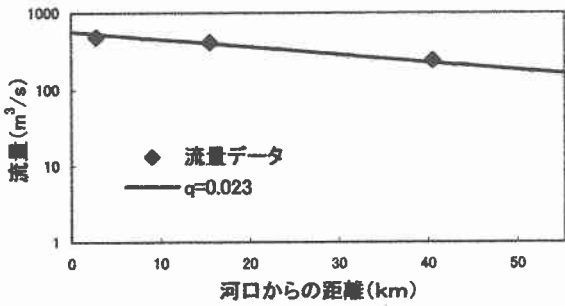


図-14 沙流川流量

ここでも天流川、大井川と同様にして計算を進める。沙流川は2箇所(0～21.37 km、28.43 km～53.41 km)に区切り、それぞれの区間で縦断形の近似曲線を求める。それらの図を図-15、16 に示す。

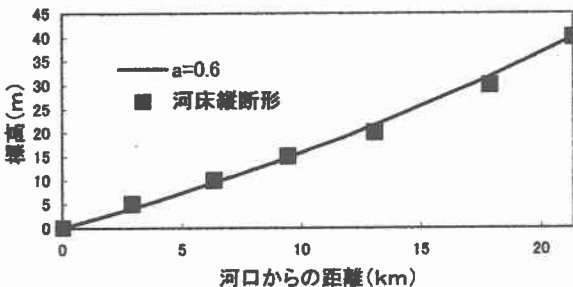


図-15 河口から二風谷ダム

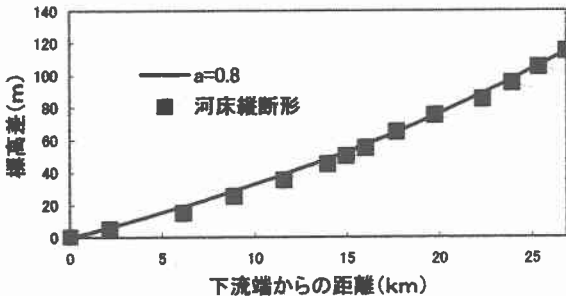


図-16 二風谷ダムから岩知志ダム

天流川、大井川と同様にして q_s の値を出すと図-17 の様になる。

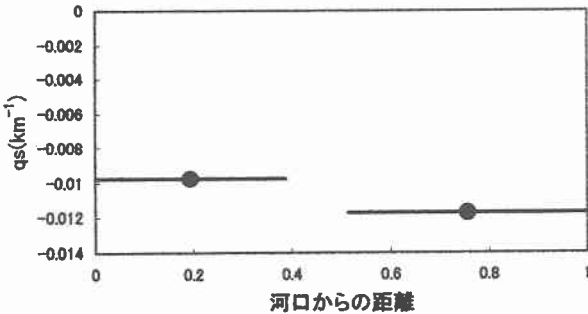


図-17 沙流川 q_s の値

4. 結果、考察

天流川は安定しているとはいいいがたい河川である。天竜川の q_s の値を見てみると上流部で正の値、すなわち流砂量が縦断的に増加している状態である。これは横からの流入が発生しているという事を示す。中流部ではほぼ0の値、すなわち縦断的に流砂量が変化しない状態である。これは流砂の出入りがほぼ無しの状態にあるということである。また、下流部で負の値、すなわち流砂量が縦断的に減少していく状態である。これは河川流送土砂を河道外に堆積させている事になる。天流川はこのように区間によって q_s の値に変化が著しく出ている。

大井川も安定しているとはいいいがたい河川である。大井川の q_s の値を見てみると上流部で負の値、中流部では0に近い値、下流部では正の値と傾向は反対であるが天流川と同様に上、中、下流部によって q_s の変化が著しくなっている。

沙流川は安定している河川である。沙流川の q_s の値を見てみると、沙流川は流砂量の縦断的な変化がほぼ無く負の値を取っている。つまり流砂が堆積しているということになる。

このように、安定してるとはいいいがたい河川の天流川、大井川は性質は異なるが縦断的に見て流砂の出入りが激しくなっているといえる。またその値を見てみると天流川は q_s の値が最大で0.01 大井川は0.012 となっている。また q_s の値の最小は天竜川で-0.09 大井川で-0.057 となっている。それに比べ沙流川は縦断的に変化は少なく、その値を見ても-0.012 と天流、大井川に比べるとかなり0に近い値である。つまり沙流川の河川流送土砂の堆積量が天竜、大井川に比べると小さく、また縦断的な変化も少ない。

5. 参考文献

- 1) 山本 徹：安定河道理論による流域の土砂生産の評価、1999 年度
- 2) 黒木、板倉：安定河道縦断形状に関する研究
- 3) 国土交通省中部地方整備局：静岡河川工事事務所事業概要
- 4) 天流川上流工事事務所：天流川事業概要
- 5) 今瀬 幹太： 河口水深の維持機構の研究 平成2001 年度