

石狩川の流送土砂の岩質組成に関する研究

Study of Rock Quality Composition of Sediment in Isikari River

北海道大学大学院 ○フェロー 黒木 幹男(Mikio Kuroki)
 北海道大学大学院 尹 種秀(Yoon Jong-Su)
 北海道大学工学部 学 生 員 齊藤 英俊(Hidetoshi Saitou)

1. はじめに

河川の流送土砂の推定は、河川工学上、河道の維持および治水、利水、河川・海域環境の保全等を検討する上で非常に重要である。河川流域では山地から河口までの土砂移動のアンバランスによって河道の堆積洗掘や海岸の浸食等が社会問題になっている。特に、石狩川のような大河川の場合は海域に流出する量も非常に膨大な量となるため、海岸や沿岸の環境問題との関わりも大きくにもかかわらず、どの河川から、どのくらいの大きさの土砂がどのくらい流出し、それが河川や河川や海岸のどこに影響をしているのかはまだ明らかに把握されていないのが現状である。したがって本研究では、石狩川とそこに合流する4河川の流出土砂量を算定し、平成10年から実施している粒径岩質調査により得られた資料をもとに河道内の土砂の移動を粒径分布と岩質構成比に着目して河道を形成する土砂の移動実態を把握することによってその質的な推定の妥当性を検討することを目的とする。

2. 流出土砂量および粒径分布・岩質構成比の計算

(i) 水深計算

河床形態を DUNE I (堆積 I) と TRANSITION I (遷移河床 I) とすると抵抗側、無次元有効掃流力は

$$\frac{u_m}{u_*} = 6.9 \left(\frac{h}{d_m} \right)^{\frac{1}{2}} \left(\frac{\tau_{*e}}{\tau_*} \right)^{\frac{2}{3}} \quad (1)$$

$$\text{DUNE I } (\tau_* < 0.02(h/d_m)^{1/2}) : \tau_{*e} = 0.21\tau_*^{1/2} \quad (2)$$

$$\text{TRANSITION I } (\tau_* > 0.02(h/d_m)^{1/2}) :$$

$$\tau_{*e} = 0.21(0.02)^{-5} \left(\frac{h}{d_m} \right)^{-5/2} \tau_*^{11/2} \quad (3)$$

ただし、 u_m : 平均流速、 u_* : 摩擦速度 ($= \sqrt{ghl_e}$)、 h :

水深、 d_m : 河床材料の平均粒径、 τ_{*e} : 無次元有効掃流力、 τ_* : 無次元掃流力となる。式 (1) ~ 式 (3) より DUNE I と TRANSITION I での水深が得られる。

また小規模河床形態の遷移点 h_B は以下の通りとなる。

$$h_B = \left(\frac{0.02s}{I_e} \right)^2 \cdot d_m \quad (4)$$

水深 h が h_B 以下であれば DUNE I となり、 h_B 以上であ

れば TRANSITION I として低水路粗度を求めることにする。以上より Manning の粗度係数 n_L は次式で表される。

$$\text{DUNE I} : n_L = \frac{h^{1/3} I_e^{1/3}}{2.4 \sqrt{gs^{1/3} d_m^{1/6}}} \quad (5)$$

$$\text{TRANSITION I} : n_L = \frac{s^3 d_m^{3/2}}{1.1 \times 10^6 \sqrt{gh^{4/3} I_e^3}} \quad (6)$$

また低水路の流量 Q_L は次式で表わされる。

$$Q_L = V_m B_L h = \frac{1}{n_L} h^{2/3} I_e^{1/2} \times B_L \times h \quad (7)$$

(ii) 掃流砂量の計算

混合掃流砂量式 (浅田の式) を用いて、流出する掃流砂量を求める。

$$\tau_{*ci} = \left\{ \frac{\log_{10} 23}{\log_{10} \left(21 \frac{d_i}{d_m} + 2 \right)} \right\}^2 \tau_{*cm} \quad (8)$$

$$q_{Bi} = p_i \times 8 (\tau_{*ie} - \tau_{*ci})^{2/3} \sqrt{sgd_i^3} \quad (9)$$

ただし、 q_{Bi} : i 番目の粒径区分の単位幅単位時間あたりの掃流砂量、 p_i : 河床材料中粒径 d_i の割合、 τ_{*ie} : 粒径 d_i における有効無次元掃流力、 τ_{*ci} : 混合床粒径別無次元限界掃流力、 d_i : 混合床粒径

ここで、有効無次元掃流力 τ_{*ie} は式 (1) ~ 式 (3) より

求めた水深 h を用いた $\tau_{*i} = \frac{hl}{sd_i}$ の値を用いて式 (2)、

式 (3) より求める。

(iii) 浮遊砂量の計算

単位時間単位幅あたりの浮遊砂は式 (7) で与えられる。

$$q_{Si} = \int_a^h c(y) u(y) dy \quad (10)$$

ここで q_{Si} は粒径別の浮遊砂量、 $c(y)$ は河床面上 y 点における浮遊砂濃度、 $u(y)$ は河床面上 y の点における時間平均流速、 a は濃度の基準点とされる河床面からの高さである。

浮遊砂基準点濃度として、板倉・岸の式を用いる。

$$c_{bi}=p_i k\left\{\alpha_* \frac{\rho}{\rho_*} \frac{1}{\sqrt{\tau_*}} \frac{\sqrt{s g d_i}}{w_o} \Omega\left(B_{* m}\right)-1\right\} \quad(11)$$

ここで $\alpha^*=0.14$ 、 $\kappa=0.008$ 、 ρ^* は浮遊粒子の密度 (=2.65)、 ρ は浮遊粒子の水中密度 (=1.65)、 w_o は浮遊砂の沈降速度で Rubey の式で求める。

$\Omega\left(B_{* m}\right)$ の値は、

$$\Omega\left(B_{* m}\right)=\frac{\tau_*}{B_{* m}} \frac{\int_0^{\infty} \frac{\xi}{\sqrt{2 \pi}} e^{-\xi^2} d \xi}{\int_0^{\infty} \frac{1}{\sqrt{2 \pi}} e^{-\xi^2} d \xi}+\frac{2 \tau_*}{B_{* m}}-1 \quad(12)$$

ここで、

$$a^*=B_{* m} / \tau_*-2 、 B_{* m}=0.143\left(\tau_{* c u} / \tau_{* c l}\right)$$

である。

(iv) 流出土砂の粒径分布・岩片構成比の計算

i 番目の粒径区分が全体に占める割合 p_{Si} を用いて、流出土砂の粒径分布を求める。

$$P_{Si}=\frac{Q_{Bi}+Q_{Si}}{\sum_i\left(Q_{Bi}+Q_{Si}\right)} \quad(13)$$

河床材料の粒径区間ごとの岩片構成比と p_{Si} を用いて、流出土砂の岩片構成比を求める。全流出土砂中の岩片 j の占める割合は

$$P_j=\sum_i\left(p_{Si} \times p_{ji}\right) \quad(14)$$

ここで、 p_{ji} : 河床材料中 i 番目の粒径区分に、ある岩片 j が含まれる割合

3. 岩質別堆積土砂の予測手法

平成 12 年までに調査された岩質別河床材料の分析結果をもとに、支川が合流することによる本川の河床材料の変化について検討する。本研究では、図-1 の模式図のように石狩川を本川とし、河口からの距離が 14 k m の地点 (KP-14) から 50km 地点 (KP-50) までの石狩川下流域を対象流域にした。また豊平川、千歳川、夕張川、幾春別川の 4 の支川を考慮して近 10 年間の日々の流出土砂量を求め、粒径分布と岩質構成比に着目して河道を形成する土砂の移動実態を把握する。本川河道への土砂運搬の考え方として、図-2 のように本川上流河道と合流支川から流出した土砂は、下流へ輸送される際に下流部の河床砂礫と交換しながら河道部に堆積されるとする。

4. 計算結果および考察

本研究では石狩川の 1990 年～1999 年の 10 年間の日流量データを用いて本川に流入する 4 支川を考慮して日々の流砂量を求め、その結果をもとに対象流域での土砂移動を推定する。

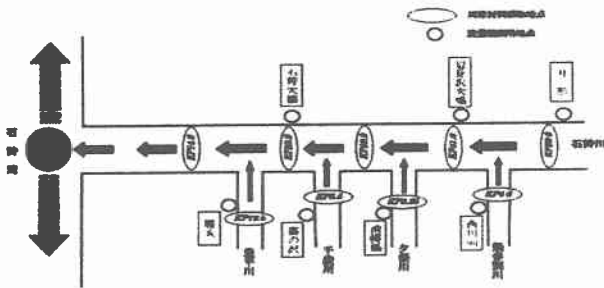


図-1 石狩川下流域の模式図

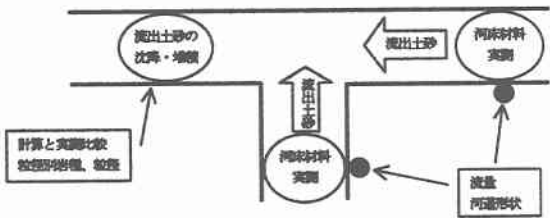


図-2 流出土砂の移動

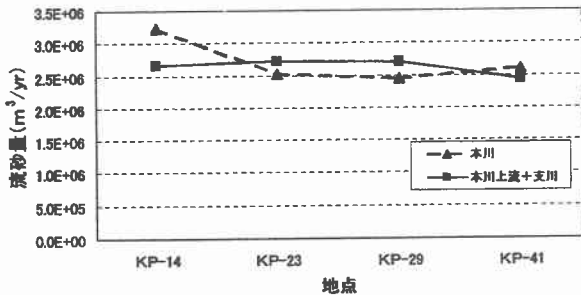


図 - 3 合流点での流砂量

図 - 3 は、本川 5 地点と 4 支川での 10 年間の流砂量の平均値を表したものである。流出土砂の計算より、下流の方に行くほど流出土砂量が多くなることが得られた。KP-41 地点では本川上流 (KP-50) と支川からの流出土砂量と本川合流点での流出土砂量がほぼ一致することがわかる。

図-4 は KP-41 合流点での粒径分布を表したグラフである。(KP-50+幾春別) と KP-41 地点で浮遊砂と全流砂量はほぼ一致しているが、掃流砂に注目すると 0.85mm 以上のおおきな粒径の掃流砂が KP-41 地点まで流出していると考えられる。一方、下流の方の KP-14 地点では 0.85mm 以上の掃流砂はほとんど流れていない。つまり、豊平川からの掃流砂は合流点に到達する前に沈降・堆積してしまったためだと考えられる。その原因としては支川が本川に近づくにつれて、河床勾配、流量、低水路幅等の変化が考えられる。

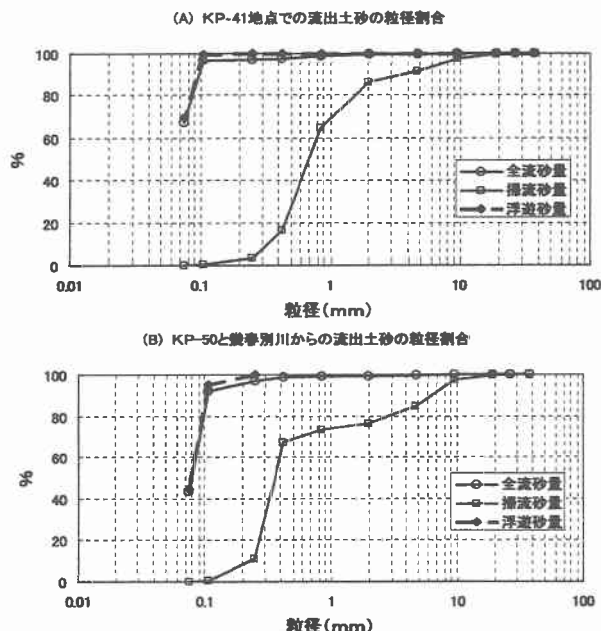


図-4 KP-41合流点での粒径分布

右上の図-5について、上記の図-3で説明したとおり浮遊砂の割合が多いので全粒砂量のみを考慮した(本川上流+支川)を比較した岩質別粒径別割合のグラフである。

この図を見ると(本川上流+支川)と本川下流でそれぞれの粒径で分布が似ていて整合性が高いといえる。上流の方は紙面の関係上図には載せていないが、分布にばらつきがあり全流砂量について整合性が高いとはいえない。その理由として掃粒砂の影響が考えられる。

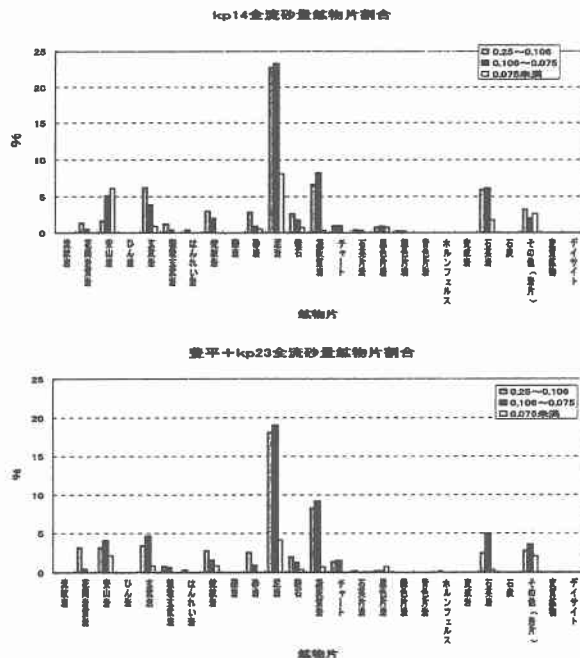


図-5 KP-14合流点での鉱物片割合

次に、石狩川の合流地点で特徴のあるKP-14とKP-29の2地点について検討する。下の図-6の4つのグラフは浮遊砂と浮遊砂の岩質割合の図であり、(本川上流+支川)と本川下流部の岩質割合を比較している。KP-14では、鉱物片、岩片ともに全流砂量(浮遊砂+掃粒砂)を考慮した方が掃粒砂のみ考慮した場合よりも整合性が高いといえる。つまり、石狩川KP-14付近に存在する河床材料は(掃流砂+浮遊砂)で河道を輸送されてきたものと考えられる。

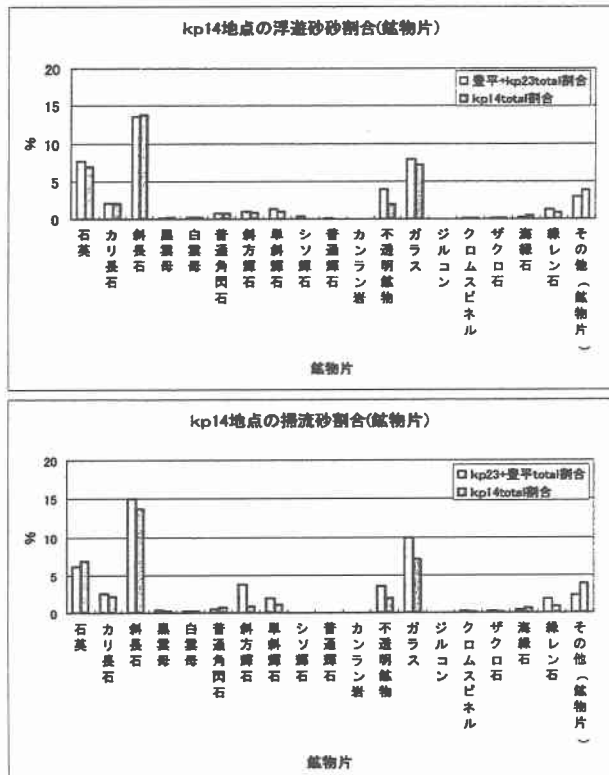
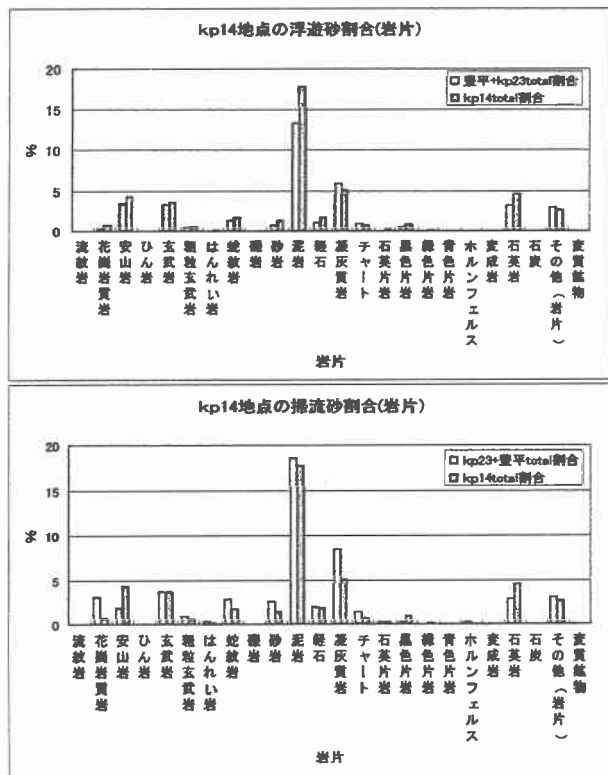


図-6 KP-14地点での浮遊砂と掃流砂の岩質別構成比

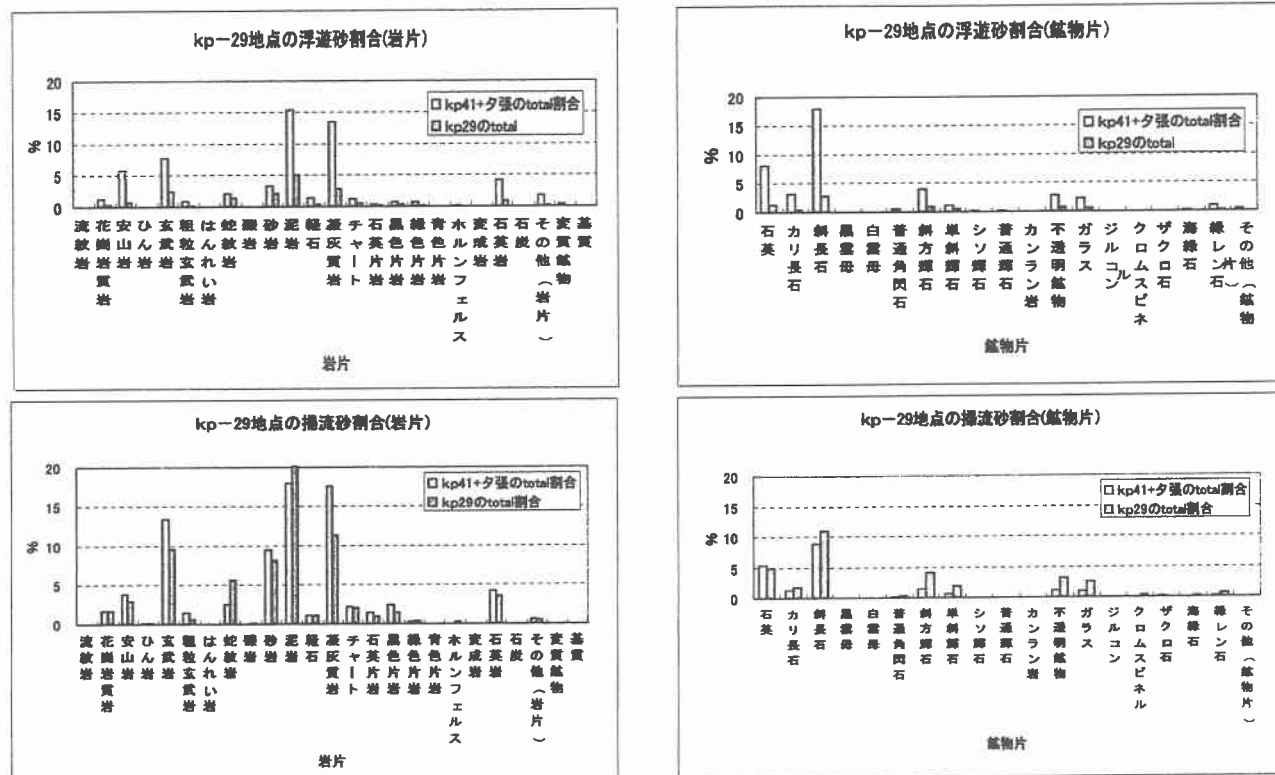


図 - 7 KP - 29 地点での掃流砂と浮遊砂の岩質別構成比

上の 4 つのグラフは K P 29 地点岩質別割合のグラフである。K P 29 地点では上のグラフに示す通り浮遊砂量を考慮した場合は、鉱物片、岩片ともに整合性が悪い。しかし浮遊砂のみを考慮した方の整合性は良く、この地点では掃流砂が河道形成に関わっていると考えられる。

5. まとめ

結果をみると K P 14 は浮遊砂を考慮したほうが整合性がよく、K P 29 地点では掃流砂のみ考慮したほうが整合性がよかった。だから河口に近いところは河道を維持（形成）する上で浮遊砂の適切な量を見積もることが大切で上流ほど掃流砂の実態を把握することが河道を長く維持することにつながると考えられる。また図-5 で示したように粒度分布で比較しても下流部ではいい値になった。これは上流部と支川から流れてきた同じ粒径の岩質がそのまま下流部まで流れていると考えられる。以上のことより岩質割合から河川での土砂の流出形態を予測、推定することができる

謝辞；本研究にあたり調査データや資料、さらには有益なアドバイスをいただいた（株）水工リサーチの加藤氏には深く感謝を申し上げます。

参考文献

- 1) 石狩川開発建設部；平成 11 年度 豊平川外河床材料調査 報告書，2000. 3
- 2) (財)北海道河川防災研究センター編、河道設計論（案）、pp.26～30、平成元年 3 月
- 3) 板倉 忠興；河川における乱流拡散現象に関する研究、北海道開発局土木試験所報告，pp5-47,1984
- 4) 岸 力・黒木 幹男；移動下流における河床形状と流体抵抗（I），p13, 1976