

石狩川河口部における岩種調査と土砂移動特性

INVESTIGATION OF ROCK QUALITY CLASSIFICATION AND SEDIMENT TRANSPORT CHARACTERISTIC AT THE RIVER MOUTH OF THE ISHIKARI RIVER

尹 種秀¹・黒木 幹男²・斉藤 英俊³
Jongsu YOON, Mikio KUROKI and Hidetoshi SAITOH

¹学生会員 工修 北海道大学大学院 工学研究科 (〒060-8628 札幌市北区北13条西8丁目)

²フェロー 工博 北海道大学大学院助教授 工学研究科 (〒060-8628 札幌市北区北13条西8丁目)

³学生会員 北海道大学大学院 工学研究科 (〒060-8628 札幌市北区北13条西8丁目)

It is an important subject in coastal administration and management works to evaluate river sediment budget and sediment transport. Therefore, in this research, we investigated the bed material and rock quality analysis of every grain size of the Ishikari River and at the coastal limits in order to elucidate the river and coastal relationship. On the basis of the field measurements of bed materials and daily discharge data of the past 10 years, the sediment budget from the Ishikari River was calculated. In order to study the characteristic of sediment transport, research zone was classified as river, river mouth and around the river mouth. According to the rock quality, field measurement data was classified as rock and mineral and as per the grain size distribution bed load and suspended load type. It is understood that for the estimation of sediment transport of bed load, it will be useful to consider the rock quality composition ratio for every grain size.

Key Words : River sediment budget, Daily discharge data, Sediment transport, River mouth
Bed load, Suspended load, Rock quality composition ratio

1. はじめに

沿岸域における土砂の供給源は、河川からの流出土砂・海食崖の侵食土砂・養浜・貝殻等が考えられる。その中で最も重要なものが、供給量も多く、沿岸の環境に影響を与える河川からの流出土砂である。土砂が河口から海へ流入したとき、そのうちのどれぐらいの土砂量が海へ流入し、どのようなメカニズムで周辺の海岸へ拡散されるのかという流出土砂と海岸での土砂移動の関係は未解明であり、沿岸域の土砂管理を行うためには非常に重要な課題である。

とくに、大河川の場合は海域に流入する量も非常に膨大な量となるため、海岸の環境問題との関わりも大きく、河川からの流出土砂量の正確な算定や沿岸域での土砂の移動メカニズムの解明が急務となる。しかし、この種の現象は、広域にわたるうへ様々な要因が絡みあっており、一般に室内実験で再現することが困難なため、その解明には現地データに基づいたいくつかのアプローチが行われてきた。その例としては、河口周辺の海岸の衛星画像や対象海岸の現地データを用いた灘岡ら(1989)の研究¹⁾

や大水深である沖合までの底質を採取し、底質情報から漂砂特性を評価した李ら(1998)の研究²⁾などがあげられる。しかしながら、河川からの流出土砂についての解析は殆ど行われていない。

そこで、本研究では、1980以後、侵食の傾向が見られる石狩川河口部を対象地域とし、河川と海岸の関係を解明する第一歩として、1998年～2000年までの3年間、海岸域の砂と石狩川河口から上流側5kmの地点の河床材料を採取し、粒径別岩種構成比の分析を行った。その結果をもとに、石狩川からの流出土砂量を算出し、定量的に評価を行った。また、石狩川下流地点と海浜の堆積土砂について調査結果より得られた粒径分布、粒径別岩種構成比を比較検討することにより、石狩川河口部における大局的な観点からの土砂移動特性を検討したものである。

2. 対象地域の概要及び調査手法

対象地域及び調査地点を図-1に表す。調査対象地域は、河川から海への土砂供給源が一つと認められる石狩川河

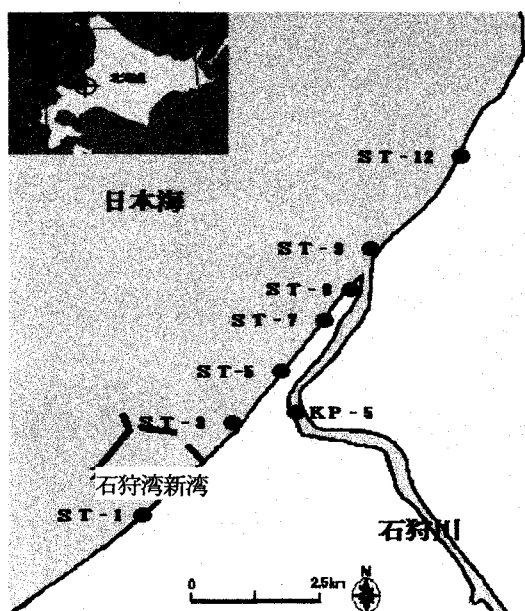


図-1 対象地域及び調査地点

口部であり、石狩川については、河口から上流側5kmまでの区間を、石狩海岸については、河口を中心に14kmに亘る海岸部を研究対象区間とする。石狩川は、大小70余りの支川を合わせて日本海に注ぐ大河川であり、その流域面積は、北海道全体の6分の1の面積(14,330km²)に相当する。石狩海岸の海況については、表層付近の流向は、夏期は北上、冬期は南下する傾向が強く、波向は、NWが約23%、NNWが約19%を占める。波高については、有義波高1m以下が全体の約66%を占め、夏期には全体の95%と非常に静穏である。

図-1に調査地点を表す。河川の調査地点は、河口から上流側5kmの地点(KP-5)に位置し、流域面積は、石狩川流域面積(14,330km²)に対して99%以上(14,196km²)を占めるため、KP-5地点を通過する流出土砂量は、石狩川の生産土砂量の大部分を占めると考えられる。海岸部については河口(ST-8とST-9の間)を中心に海岸線に沿った約14km区間の7つの地点を調査対象地点とした。

各地点において、底床材料採取を行い、粒度試験を実施し、各粒径毎に岩種鑑定を行った。肉眼で鑑定が可能なものは肉眼鑑定を実施し、肉眼で鑑定が困難なものについては、顕微鏡による鏡下鑑定を実施した。対象地域では粒径が微少なため、岩石ではなく結晶で存在しているものに対しては、鉱物を鑑定し、粒径毎に17種の鉱物片と21種の岩片で分類し、鑑定を行った。鉱物は岩片の構成成分になる小片にあたるものの、岩片程の大きさの鉱物も存在する。岩片は火山および堆積作用あるいは高温・高圧等の条件によって化学的組成と性質が変わるが、鉱物は外部からの作用によってその化学的組成と性質が殆ど変わらないため、異種の岩片でも同種の鉱物を含んでいる場合が普通である。従って、岩片が川で運ばれるうちに細くなった時や海で漂砂作用により小さくなった時、鉱物は岩片から分離され、異種の岩片からの鉱物

が存在することになる³⁾。そのため、鉱物から土砂の移動を予測するのは非常に難しい問題になる。

そこで、本研究では粒径別の岩片と鉱物片の構成比の調査はしたもの、土砂の移動については主に岩片を考慮することにした。また、岩片の鑑定結果をランドスケープ情報(流域の地形・地質・土地利用・流域面積・平均標高・河道形状・崩壊地などに関する地理的情報)と比較することによって火成岩類・堆積岩類および変成岩類の3つの種類で大別し、21種の岩片の中で鉱物の組成や起源が似ていると認められる岩種を新たに13種(火成岩類6種、堆積岩類3種、変成岩類4種)にまとめ、単純化して粒径別の岩種鑑定結果に基づいて土砂移動の推定を行った。

3. 流出土砂量計算

(1) 計算手法

実際の河川からの流出土砂は、調査による正確な資料がなく、計算により求める。流出土砂量を求めるために、浮遊砂・掃流砂を含む混合粒径を考慮し、計算を行った。また、調査によると、石狩川のKP-5地点では0.106mm以下の粒径について基質が河床材料の約50%を占めている。基質とは、岩石と岩石とをつないでいた物質のことであり、粒径が非常に細かく岩種鑑定が困難なものを含む。粘着性のあるシルトや粘土等を多量に含む河床材料は、細かい土砂の持つ粘着性のため、砂礫のみから成る粗い河床材料より流水に対して大きな抵抗力を持つ⁴⁾ことから、代表粒径の最小値を0.075mmと仮定した。計算上、河川の横断面形状は現場調査によりえたKP-5地点の低水路幅、高水敷幅、低水路深さをを用い、片岸に高水敷を有する矩形断面を想定した。低水路の河床抵抗(粗度係数)については、Dune IまたはTransition Iを仮定した。さらに日流量データや河川の河床形状、河床材料の実データから日々の流出土砂量を求め、それらから対象期間(1990～1999年)の流砂量を求める。

(2) 計算結果

図-2は、河口から上流側の5kmのKP-5地点での日流量から各日毎の流量および流砂量を合計して年間の総流量および総流砂量として表したものである。流量、流砂量ともに過去10年間で最大の年は1999年であり、その年の年間流砂量は約440万m³に達している。そして、年間の平均流出土砂量は約290万m³となっている。図-2(b)で黒色の部分が掃流砂で、白抜きの部分が浮遊砂である。この結果を濁度データ・流量の関係から求められた年間流砂量推定値の結果と比べると、量的によく一致する。図-2から、流出土砂成分の大部分が浮遊砂として計算されており、全流砂量の90%以上を占めていることがわかる。

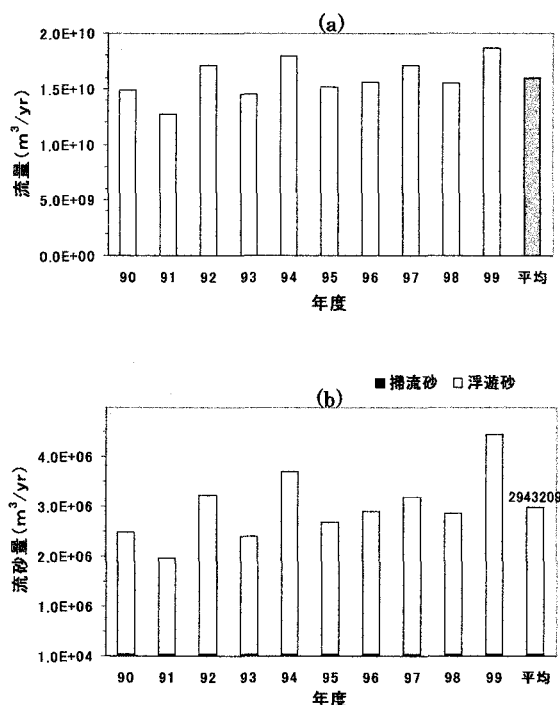


図-2 石狩川の年間(a)流量と(b)流出土砂量

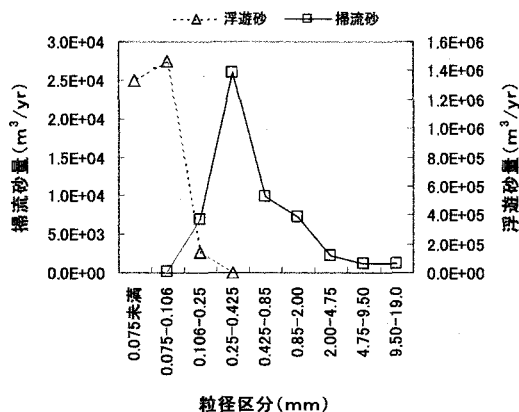


図-3 石狩川からの粒径別流出土砂量分布
(10年間の平均値)

計算の過程において算定されるKP-5地点からの流出土砂(掃流砂と浮遊砂)の各粒径の占める量の10年間の平均値を表したのが図-3である。これによれば、粒径区分0.106~0.25mmを境として浮遊砂はそれ以下の粒径が、掃流砂はそれ以上の粒径が両方とも90%以上を占めている。実際に計算上、0.106mm以下の細かい粒子が河床材料中には極僅かな割合でしか含まれていないにもかかわらず、計算結果の大部分が微細粒子となっている。

4. 調査結果及び考察

(1) 粒度分布について

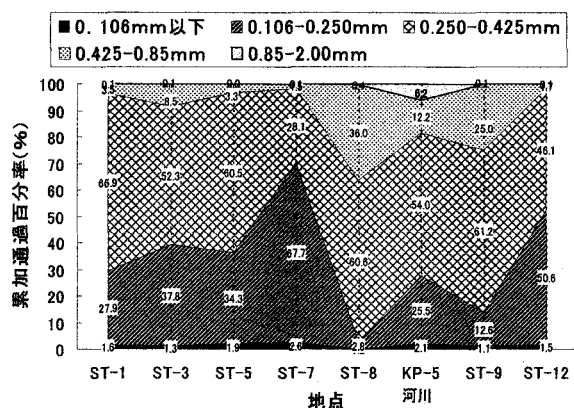


図-4 地点毎の粒度分布

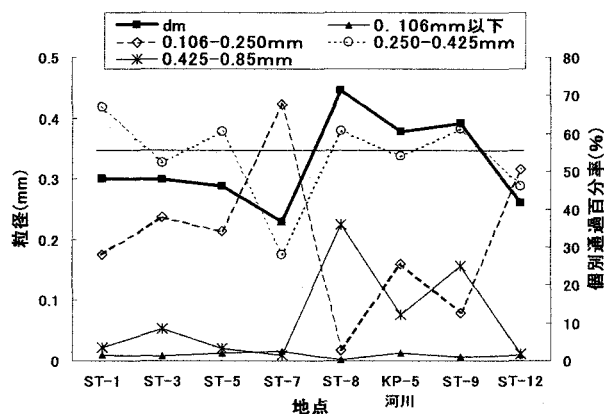


図-5 地点毎の平均粒径と粒径別割合

石狩川のKP-5地点と海岸の各地点の粒度分布を図-4に、地点毎の平均粒径および各粒径の割合変化を図-5に示す。図-4から、0.25mm以下の粒径について、河口左・右岸のST-8とST-9地点での通過重量百分率はそれぞれ2.9%と13.7%で、石狩川のKP-5地点より通過重量百分率が低い。ST-7地点は70.3%で割合が非常に高い。その他の海岸地点での通過重量百分率の平均値は37.7%でKP-5より高い。一方、比較的大きい粒径0.425mm以上の通過重量百分率は、河口左・右岸のST-8とST-9地点ではそれぞれ36.4%と25.1%であるが、それに比べ、その他の海岸地点での通過重量百分率の平均値は3.8%で、河口左・右岸は粗粒砂の構成比が高くなっている。なお、図-5によると、海岸各地点の平均粒径は0.32mm程度であり、河口左岸(ST-8)と河口右岸(ST-9)地点での平均粒径はそれぞれ0.446mmと0.389mmで石狩川の平均粒径0.377mmより大きい。その他の地点の平均粒径は0.30mm以下で、河口左・右岸の平均粒径より小さい。また、0.106~0.25mmに対する地点毎の通過重量百分率の変化は、平均粒径の地点毎の変化傾向と反対の傾向(例えば、平均粒径が小さい場合、ST-7の0.106~0.25mm粒径に対する割合は増加する)が見られるが、0.425~0.85mmの比較的大きい粒径に対しては平均粒径の変化とほぼ似ている傾向が見られ、ST-8とST-9の場合、突出している。これは、石狩川からの流出土砂が河口前面海岸に堆積した

後、波と流れの作用でふるいわけられ、比較的粗粒である砂が河口左・右岸に残ることにより河口部は粗粒化され、結果的に平均粒径が大きくなったと考えられる。一方、細砂成分は波と流れにより沖あるいは海岸の遠方まで運ばれる間、沈降・堆積することにより平均粒径が小さくなった可能性が高い。

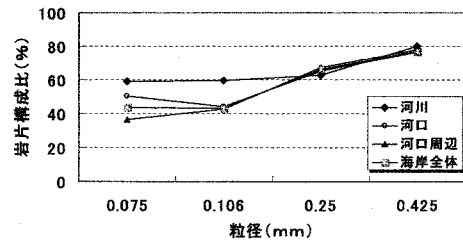


図-6 粒径別の岩片構成比

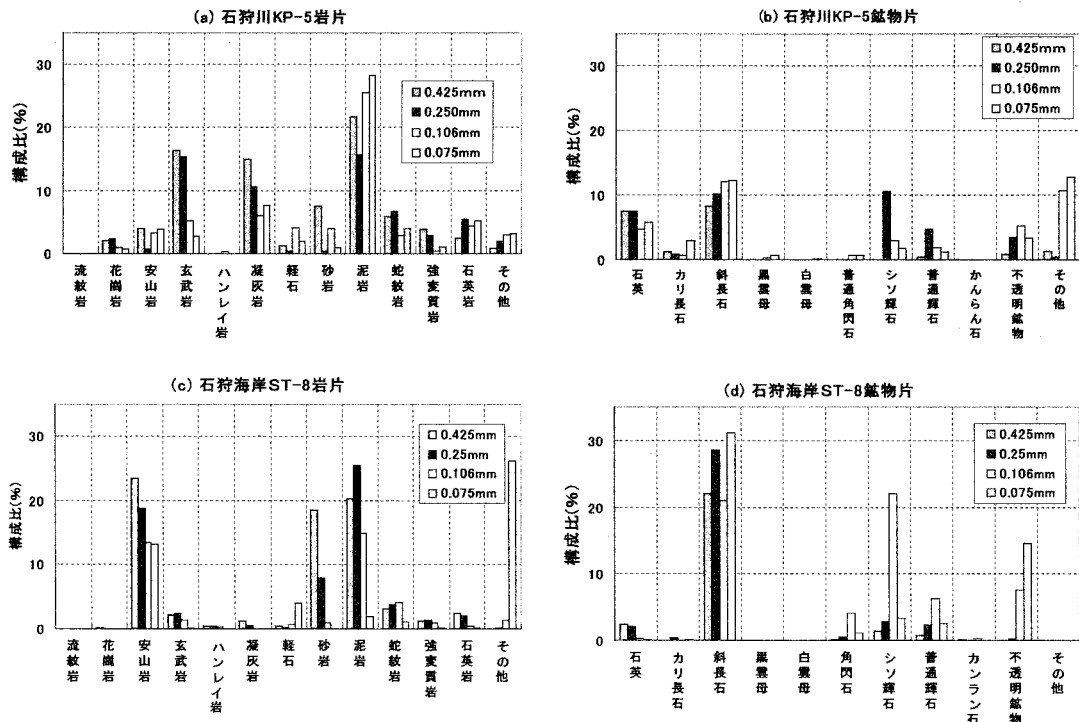


図-7 河川(KP-5)と河口(KP-8)の岩片と鉱物片の構成比

(2) 岩片と鉱物片について

各地点について河床材料を採取し、粒径別に岩種鑑定を実施したが、通過重量百分率の占める割合がある程度確保されている粒径について鉱物片と岩片で構成比の検討を行った。

調査による試料は、まず粒度試験によって粒径を区分する。試料の各粒径は鉱物片と岩片で構成されており、粒径毎に鉱物片と岩片の割合が異なる。図-6では、各粒径に対する岩片のみの構成比の変化を地域区分して表す。海岸域の地域区分は河口(ST-8, ST-9)と河口周辺(ST-1, ST-3, ST-5, ST-7, ST-12)で分けてそれぞれの岩片構成比の平均値を図-6に表す。図-6より、粒径が0.25mm以上で比較的大きい程岩片の割合が60%以上で高く、鉱物片は存在割合が低い。また、粒径が0.25mm以上で比較的大きいと、河川、河口、河口周辺での岩片と鉱物片の構成比には大きな差はないが、0.106mm以下の粒径については、河川、河口、河口周辺での岩片構成比には差がある。0.106mmの粒径については、河口と河口周辺での岩片の構成比がほぼ一致しているが、

0.075mmについては、河口周辺より河口での岩片の割合が高いことから、河口から離れると岩片の割合が減少する傾向のあることがわかる。

図-7に河川のKP-5と河口との関わりが大きいと考えられる河口左岸(ST-8)の岩片(図-7(a), 図-7(c))と鉱物片(図-7(b), 図-7(d))の構成比を表す。岩片から見ると、河川のKP-5では、玄武岩、凝灰岩、泥岩の構成比が高い。ST-8では、安山岩、砂岩、泥岩の構成比が高い。また、鉱物片から見ると、KP-5では、石英、斜長石、シソ輝石、普通輝石、不透明鉱物の構成比が高い。ST-8では、斜長石、シソ輝石、普通輝石、不透明鉱物の構成比が高く、地点によって岩片と鉱物片の構成比には差があるが、図-7(a)の岩片の中で一番構成比の高いと認められる泥岩に注目すると、粒径0.106mm以下について、KP-5とST-8(図-7(c))とは平均的に20%程度の構成比の差がある。また、河口のST-8(図-7(d))では斜長石が多量採取されており、その構成比がKP-5(図-7(b))より随分高くなっていることから、流下する過程で細分化され存在していると伺われる。以上より、河川から海岸への流入や

海岸での漂砂作用による土砂の移動過程では、本研究で考慮した0.425mm以下の細かい粒径でも岩片から鉱物片への遷移が存在する可能性が高い。

(3) 岩片の構成比を用いた土砂移動推定

前節の結果より、本研究対象地域における岩片から鉱物片への遷移はあるものの、鉱物片は岩片の構成成分になるため、岩片について、海岸域での存在比率の比較的高い10%内外の流紋岩、安山岩、凝灰岩、泥岩の4つの岩種を選定し、0.075mm～0.425mmの粒径別岩片構成比による土砂移動の推定可能性を試みた。研究事例の少ない調査のため、大局的な傾向から検討を行った。

図-8は、河川と海岸地点の岩片構成比の平均値を表したものである。河川と海岸地点での0.075mm～0.425mmの粒径の平均値より、火山岩から由来した流紋岩と安山岩に注目すると、流紋岩の場合は河川には存在しなく、安山岩も河川には、その存在割合が低い。一方、海岸において凝灰岩と泥岩の岩種構成比は、凝灰岩はほぼ同じぐらいに、泥岩は河川の約半分ぐらいに変化している。調査結果(図-9参照)によると、流紋岩は河口左岸のST-7地点までしか出現しておらず、安山岩も河口右岸では出現率が低い。

図-10は、図-9の調査地点を河川(KP-5)、河口(ST-8, ST-9)、河口周辺(ST-1, ST-3, ST-5, ST-7, ST-12)で地域区分し、粒径毎にまとめたものである。図-10から粒径別にみると、流紋岩の場合、河口周辺では出現しているが、河川と河口では見られない。一方、安山岩は、河川からの流出土砂の岩種構成比は5%未満であるが、0.075mm～0.425mmまでの粒径について、河口周辺より河口での岩種構成比が高いことから、石狩川河口部にかなりの影響を及ぼしていることが認められる。凝灰岩は、0.075mmの粒径については、河口で出現していないが、0.106mm～0.425mmまでの粒径については、粒径が大きくなるほど河口での岩種構成比が高くなる。また、河口周辺では、0.25mm～0.425mmの岩種構成比がほぼ同じである。泥岩は、0.106mm以下の粒径については、河川と海岸における岩種構成比に大きな差があるが、0.25mm以上の粒径については、0.106mm以下の粒径の河川、河口、河口周辺での岩種構成比と比べると、大体似ている。

以上のことから、流紋岩と安山岩は、河口左岸側の海崖あるいは他の供給源により運ばれた可能性が高いと考えられる。また、凝灰岩と泥岩の粒径0.25mm～0.425mmについては、河川、河口、河口周辺での岩種構成比にあまり差がないことから、河川からの流出土砂が本研究の対象海域までに移動していると考えられる。

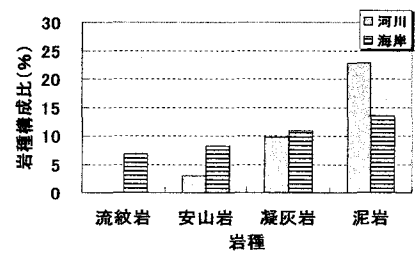


図-8 河川と海岸の岩片構成比

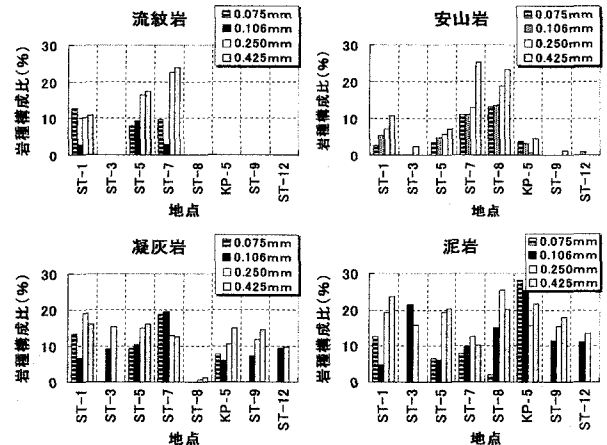


図-9 調査地点の粒径別岩種構成比

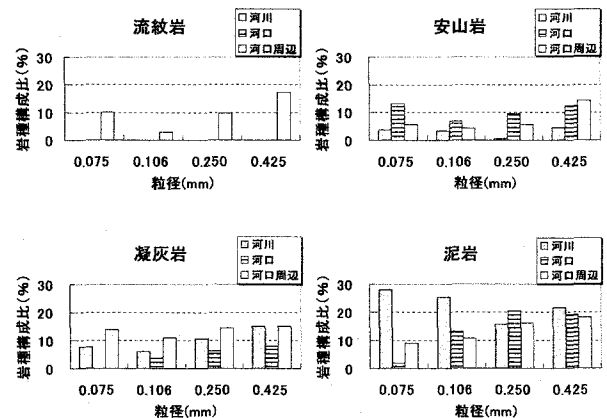


図-10 地域区分による岩種構成比

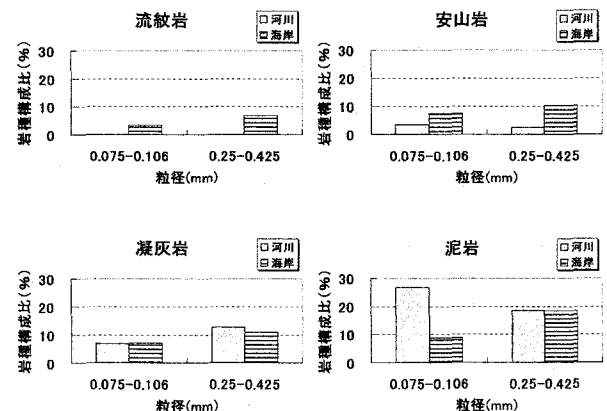


図-11 移動形態(浮遊型と掃流型)区分による岩種構成比

図-11は、0.075mm～0.106mmの粒径を浮遊型、0.250mm～0.425mmの粒径を掃流型として移動形態を考慮し、地域については、河川と海岸全体で区分した場合の岩種構成比を表したものである。図-11から、河川と海岸で岩種構成比の高い凝灰岩と泥岩の浮遊型粒径については、岩種構成比の増加も減少もあり、大きなばらつきが見られるが、掃流型の粒径については、河川と海岸での岩種構成比の変化が殆どないことがわかる。このことから、多量に存在する岩片河床材料の掃流分については岩種構成比を用いてある程度土砂移動の追跡が可能であると考えられる。

図-12に掃流型粒径(0.24mmと0.425mmの粒径)の河川、河口、河口周辺に対する岩種構成比のばらつきを表す。前述のように、泥岩と凝灰岩の掃流型粒径の場合、河川と海岸全体の岩種構成比がほぼ一致していることがわかる。しかし、図-12からみると、河川、河口、河口周辺で採取した河床材料の中で岩種構成比の高い掃流型の粒径に限っても、地域別の岩種構成比にばらつきがみられる。このことから、sampling上の誤差や岩種鑑定上の誤差等のある可能性が考えられる。

表-1に、主な岩石の単位体積重量を示すが、凝灰岩の場合、他の岩石とは単位体積重量の差のあることから岩種構成比を用いて精度の高い土砂の移動を推定するためには、岩片毎の比重も考慮する必要がある。

5. 結論

本研究では、流砂の質に関して、従来から実施されている粒径だけではなく、岩種や鉱物に着目して調査を行った。事例の少ない調査のため、まず石狩川の下流に位置する地点と海岸について調査を行った。その結果をもとに、石狩川からの流出土砂量を算出し、定量的に評価を行った。また、石狩川下流地点と海岸の堆積土砂について粒径別岩種調査結果より得られた粒径分布、粒径別岩種構成比を比較検討することにより、石狩川河口部における大局的な観点からの土砂移動特性を検討した。調査手法や解析手法等については試行錯誤で進めており、試料の採取や解析手法の考案などについて検討していくことが当面の課題として挙げられる。

本研究の結果を整理すると、以下のとおりである。

- 石狩川の年間の平均流出土砂量は約290万 m^3 であり、浮遊砂が全流砂量の90%以上である。
- 石狩川河口左・右岸地点での平均粒径は、石狩川平均粒径より大きく、0.425mm以上の粒径が多量含まれている。

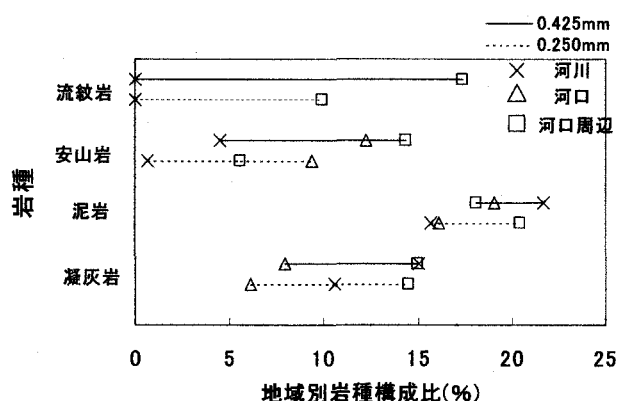


図-12 掃流型粒径の地域別岩種構成比

表-1 主な岩石の単位体積重量

岩石名	単位体積重量(kN/m^3)
花崗岩 (Granite)	25.5～26.5
玄武岩 (Basalt)	25.5～27.4
安山岩 (Andesite)	25.5～27.4
砂岩 (Sandstone)	20.6～25.5
頁岩 (Shale)	26.5～28.4
石灰岩 (Limestone)	25.5～27.4
粘板岩 (Slate)	26.5～27.4
凝灰岩 (Tuff)	13.7～24.5
泥岩 (Mudstone)	25.5～27.4
蛇紋岩 (Serpentine)	24.5～28.4

- 石狩川河口部の河床材料の中で0.250mm～0.425mmの粒径については、河川と海岸において岩片の割合には大きな差はないが、0.106mm以下の粒径については、約20%程度の割合の差があり、河口から離れると鉱物片の割合が増える。
- 多量に存在する岩片河床材料の掃流分については、岩種構成比を用いてある程度土砂移動の追跡が可能である。

参考文献

- 1) 灘岡 和夫・山下 俊彦・蒲田 浩久・佐藤 尚稔・牧野 有洋：衛星画像ならびに現地データに基づいた石狩川周辺の沿岸水理解析，海岸工学論文集，第36巻，pp. 219～223，1989。
- 2) 李 在炯・入江 功・村上 啓介・佐藤 慎司：大水深域を含めた広域の漂砂特性，海岸工学論文集，第45巻，pp. 486～490，1998。
- 3) 千葉 とき子・斉藤 靖二：かわらの小石の図鑑，東海大学出版会，1996。
- 4) Egiazaroff, I.V.: Calculation of Nonuniform Sediment Concentrations, Proc. ASCE, Vol.91, No. HY4, pp.225～247, 1965.
- 5) 清水 康行・嵯峨 浩・早川 博・品川 守：石狩川の土砂流出に関する研究，水工学論文集，第42巻，pp. 1039～1044，1998。

(2002. 9. 30受付)