

石狩湾沿岸の漂砂

鴻上雄三*・長内戦治**・星藤男***・高松光幸****

1. まえがき

砂浜海岸に港湾を建設する場合、あらかじめ自然条件を調査して漂砂の動態を把握し、何らかの方法で漂砂量の規模を見積もっておく必要がある。

石狩湾沿岸に港湾を建設する計画は古くから数多くあったが、最近、第3期北海道総合開発計画の策定により、石狩新港の建設が具体化してきた。歴史的背景から新港候補地と目されていた石狩河口、鯨塚、樽川を含む石狩湾沿岸の湾奥部 25 km はほぼ単調な砂浜海岸で、わが国屈指の石狩川が流入している。そのため、港湾維持の隘路となる漂砂および流入土砂の挙動を明らかにし、港湾の適地を決定するための調査が、39年度以降実施されてきた¹⁾。

この報文では、特に漂砂に関連する事項について

1) この調査域のようにきわめて近接し、海象条件の類似する地点間の漂砂の規模を比較する手段としては、捕砂竹を用いて水深別の累積捕砂量を調べる相対的比較方法が有効である。

2) 石狩湾沿岸は潮差が少なく遠浅で碎波帯が広く、沿岸流や波向に特徴的变化が認められないので、海象条

件から漂砂の特徴を推定するのは判断を誤りやすく、蛍光砂の追跡などによる直接調査が必要である。

3) 流出土砂量の多い石狩川が漂砂の補給源と考えられるが、その影響範囲を推定する試みとして河口からの淡水層の広がりに着目し、流速、塩素量濃度、濁度などの分布特性との関連を調べ、新たな知見が得られた。など、要約を述べる。

2. 海岸の概説

石狩湾は積丹半島と雄冬岬に挟まれるU字形の湾で、海底は等深線が北西に向かって延び、平坦な大陸棚を形成する。勾配は水深 10, 20, 30 m までそれぞれ 1/120, 1/300, 1/800 と著しく遠浅である(図-1)。

湾奥部の石狩海岸は石狩川水系の埋立てによる砂浜海岸(銭函～知津狩)で、銭函以西は急峻な海崖が、知津狩以東は隆起による石狩段丘が連続している。砂浜海岸のうち銭函～石狩河口には汀線の背後 50～100 m に標高 10 m の海岸砂丘が続き、これとは別に内陸砂丘と呼ばれるものが茨戸より紅葉山まで海岸線に並行する。この内陸砂丘は、現在の海岸線に移行する以前の旧汀線と推定されるものである。

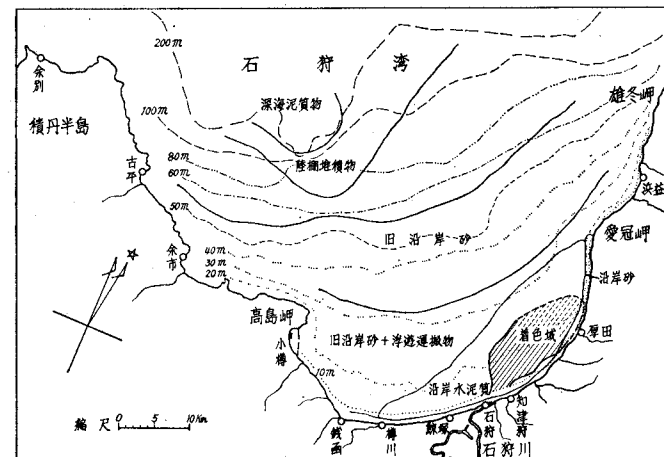


図-1 石狩湾沿岸概要図

砂浜海岸の石狩、鯨塚、樽川の汀線付近におけるボーリング結果から地質断面を推定すると図-2のとおりで、ほぼ 10 m の厚さで細砂、シルト質細砂、粘土の各層が水平に並んでいる。

図-3は、石狩湾における 42 年のステップ式波高計による 1 日 12 回観測の記録を整理したものである。当然のことながら日本海に面する海岸の特徴として、波浪の規模は夏期と冬期で異なる。日本海において高波を発生させる強風域は、日本海を北上する低気圧の通過による場合と、大陸の高気圧からの吹き出しによる場合とに大別できるが、後者は冬期 11～3 月に集中する。しかし、対岸距離の制約を受け周期は

一般に短いのが特徴である。図には余別、浜益におけるものもプロットしてあるが、風域の広い余別では高波の出現が多く、湾奥部に位置する石狩では高波が少ない。

波向は海岸線に直角方向が多く、余別 NNW、石狩

* 正会員 北海道開発局土木試験所港湾研究室長
 ** 正会員 北海道開発局港湾部港湾計画課開発専門官
 *** 正会員 北海道開発局小樽開発建設部築港課計画係長
 **** 正会員 北海道開発局留萌開発建設部築港課計画係長

NW, 浜益 W で、それぞれ全体の 50%以上を占める。第2波向はそれぞれ NNE, WNW, WNW で、両者の合計は80%以上となっている。

砂浜海岸における汀線の変動は一般に少なく、比較的安定な海岸といえる。図-4は汀線の消長と前浜付近の土量の関係を示すもので、41年7月の測量断面を基準にとり、同9, 11月, 翌5, 7, 9, 11月の断面について、各測線ごとに汀線の移動距離および土量の増減を求め、全測線について平均した値をプロットしたものである。図から石狩左岸部は汀線の前進が見られるが前浜の土量に減少の傾向があり、それ以外の海岸は汀線の前進とともに堆積の傾向が見られる。

砂浜海岸全般には沿岸砂州の存在が認められる。砂州の規模は季節的に変化するが、その状況を地区別に表わすと図-5のとおりである。樽川, 鯨塚では、41年7月に距岸 500~600 m 付近に比較的規模の大きい砂州が存在していたが、42年には比高が 1.0 m 程度に小さくな

り、43年には完全に消滅している。しかし、距岸 300 m 以内の砂州には変化がない。石狩では沖合いのものから徐々に消滅している。

3. 浮遊砂量の相対的比較

浮遊砂の観測には北大式捕砂竹が用いられる。筆者らは竹筒の貯砂容量と実際の捕砂量との関係および製作の便を考慮して、捕砂孔を直径 1 cm の孔 4 個に改造したものを使用している。

図-6は石狩河口、鯨塚における捕砂量の鉛直分布を類似の海況時の他の海岸と比較したもので、石狩河口の分布は十勝港(十勝海岸), 節婦漁港(日高海岸)に類似しているが、鯨塚は極端に少ない。

いま、石狩海岸内における比較を行なうために、このような鉛直分布曲線から 0.5 m ごとに各高さの捕砂量を読み取り、底面からの累積捕砂量 P を求め、これを設置期間 T で割り水深別の平均的捕砂量 $P_m = (1/T) \cdot \Sigma P \times \Delta x / \Sigma \Delta x$ (Δx : 読み取り間隔, P_m : gr/day) を計算する。図-7はその結果を示すもので、浮遊砂量の地区ごとの相対的比較ができ、石狩川の影響のある石狩が、鯨塚、樽川に比べオーダー的に大きいことが明らかにされる。

4. 螢光砂による底質の移動状況

沿岸砂州の消長から距岸 600 m までが漂砂帯と考えられるが、石狩海岸は著しく遠浅で波浪が汀線に直角に入射する場合が多く、沿岸流に季節的な特徴が認められないので、螢光砂により底質移動の直接観測を行っている。螢光砂は、投入点の鯨塚の底質粒径の $d_{25} \sim d_{100}$ に相当するふるい分けした砂を用い、螢光

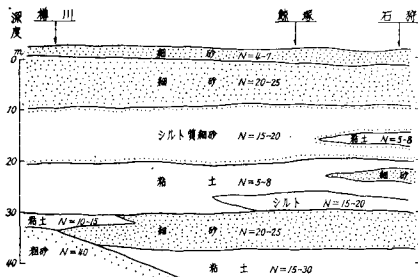


図-2 地質断面図

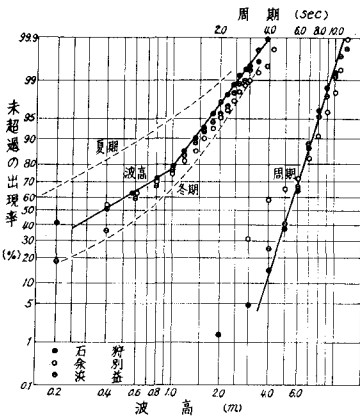


図-3 波高周期の出現率図

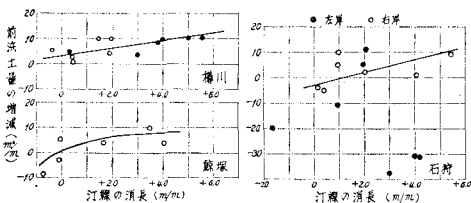


図-4 汀線の消長と前浜土量の関係

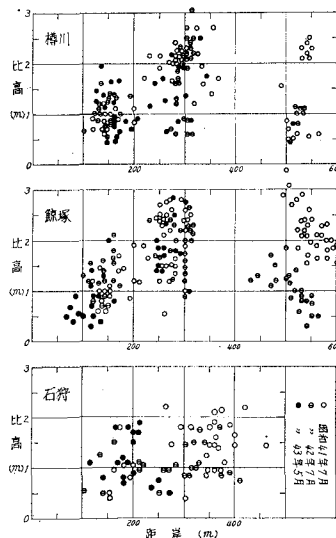


図-5 沿岸砂州の規模

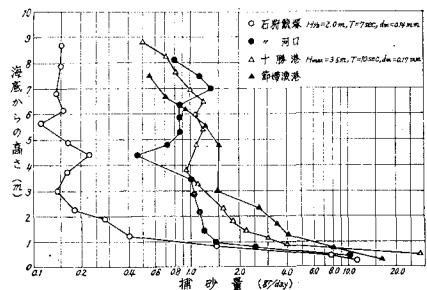


図-6 捕砂竹による浮遊砂量分布

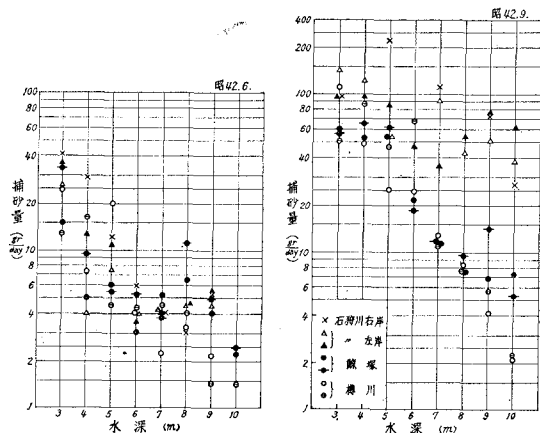


図-7 水深別累積捕砂量

塗料とをコンクリートミキサで混合した。投入点は図-8に示すとおりで、汀線の直角方向の測線上に 1 m^2 ずつ投入した。ただし、汀線は 0.5 m^2 ずつ2回に分けている。

図-9は底質の分散状況を示すものである。水深5 m地点では投入20日後南西へ40 m、1カ月後南東へ40 m移動し、水深3 m地点では20日後南東へ40 m、1カ月後南へさらに100 m移動している。両地点とも投入点に多量の蛍光砂が検出されているから、この期間の漂砂現象は比較的緩慢であるといえる。

図-10は汀線付近の分散状況を示す。1回目の測定では投入点から西へ400 m、2回目は1400 mまで移動し、東へは200 mであったのが、3回目は400 m、4回目は1000 mと伸び、西への移動は完全に止まっている。また水深3 m地点へ投入の蛍光砂が3回目から西400 m～東500 mの区間の汀線で検出され始め、4回目はその数が増加している。

以上のように水深5 mから岸側の砕波帯では海岸へ向かって移動する傾向があり、このうち汀線付近まで到達したものは汀線漂砂となって海岸沿いに移動し、9～10月ころまでは西へ、その後は東へ向かう傾向がある。

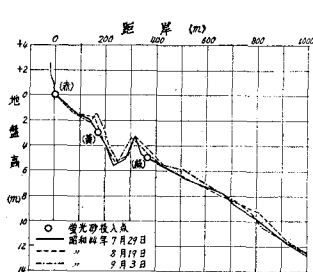


図-8 蛍光砂投入点と海底変化

5. 漂砂源の推定

石狩川から搬出される浮遊土砂量は $150\sim 200\text{ 万 m}^3/\text{年}$ 、掃流土砂量は $1\sim 3\text{ 万 m}^3/\text{年}$ と推定されている。掃流土砂は河口付近に堆積し河口変動の要因となっているが、浮遊土砂は石狩湾に広く分布している(図-1)。浮遊土砂がどこにどれだけ沈殿するか、どのように移動するかという問題は、隣接港湾の機能あるいは海岸の保全を考えると重要である。しかし現在のところ、浮遊土砂の挙動を量的に捕えることはきわめて困難で、ここでは、北大が行なった底質の蛍光X線分析による起源判定結果と、浮遊土砂の挙動に関する2, 3の河口特性の解析結果について述べ、この種の問題解決の一資料としたい。

(1) 底質のX線分析²⁾

河水や海水には微量のCaが CaCl_2 の形で存在するが、掃流土砂や底質中には CaO 、 CaCO_3 、 CaSO_4 、 $\text{Ca}_3\text{P}_2\text{O}_8$ の形で存在する。これとは別に、プランクトンおよび魚貝類によって海水中のCaが濃縮され、その死骸が堆積することにより底質のCaは増加し、河川の土砂に対し数倍の比をもつことがある。福島らは、この比率の差に注目して底質の判定を行ない、蛍光X線分析によるCaのピークの大小により図-11に示すように底質をA, B, Cの型に分類し、石狩川の影響を考察している。

(2) 河口特性の解析

a) 淡水層の広がり及厚さ

石狩川から流出する淡水は海水とはまったく色を異にし、褐色に濁って海面に着色域を作っている。図-1の斜線部分は着色域の外周を航行してレーダーにより追跡したものである。写真-1はかなりの時化があった翌日のもので、淡水の広がり方から時化の影響が現われていること、また、潮境が幾重にもなっている様子が認められる。

淡水の流線の広がりに関しては柏村により指数関数的であることが示されているが³⁾、図-12に流量をパラメーターとして流線の広がり方を示す。流線の広がり方は流量 $500\text{ m}^3/\text{sec}$ くらいまではその度合いが大きく、それ以上では流量に応じて河口から数100 mまでの間、流線の

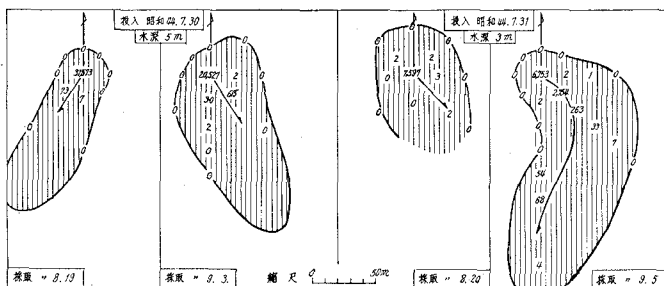


図-9 海底の蛍光砂移動状況

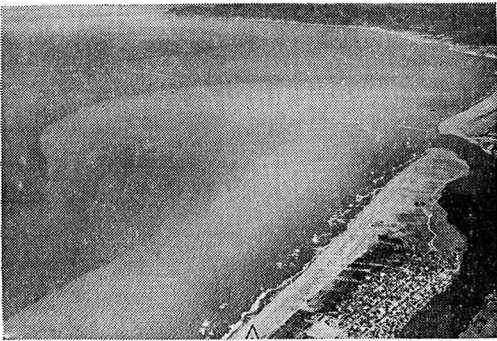


写真-1

広がりがなくなり、それ以遠の広がり度合いも小さくなる。塩水くさびが河口内に存在し得る限界流量は、石狩川では $500 \sim 600 \text{ m}^3/\text{sec}$ くらいである⁹⁾とされているが、このことが流線の広がり方に影響するものと考えられる。

図-13は、淡水層の厚さを塩素量濃度の不連続面（淡水層と海水層の間の境界層の上端）までの厚さとして、ほぼ流心に沿って測定したものである。図は河口付近の淡水厚の減少傾向が流況により異なるが、指数関数的で

あることを示す。

b) 流速分布と塩素量濃度分布

河口付近の流線間隔の増加が $l=l_0 \exp(kx)$ 、淡水厚の減少が $d=d_0 \exp(-jx)$ と表わせれば

$ld\bar{u}=l_0d_0\bar{u}_0=\text{const} \dots\dots\dots (1)$

ここに、 l ：流線間隔、 d ：淡水厚、 x ：河口から流線沿いの距離、 $\bar{u}$ ：淡水の平均流速、 k, j ：定数、添字 0：河口における値を示す。

$\therefore \bar{u}=\bar{u}_0 \exp\{(j-k)x\} \dots\dots\dots (2)$

式(2)は $k>j$ なら流速が距離に関して指数関数的に減少することを示すが、図-14に流量をパラメーターとした流心上の表面流速の実測結果を示す。なお、式(2)は淡水層の平均流速が満足する式であるが、実測により表面流速も同じ傾向にあることが認められている。

図-15は表面塩素量の増加傾向を示す。塩素量濃度の増減は淡水の海水による希釈を説明する重要な因子であり、浮遊砂の濃度（濁度）はそれに沈降、泥質物の自己変化、結合・離散現象を加えて説明されよう。図は流量が小さいときは河口近くで高塩素量になること、河口から $2 \sim 3 \text{ km}$ くらいまでに急激に塩素量が増加し、沖合い

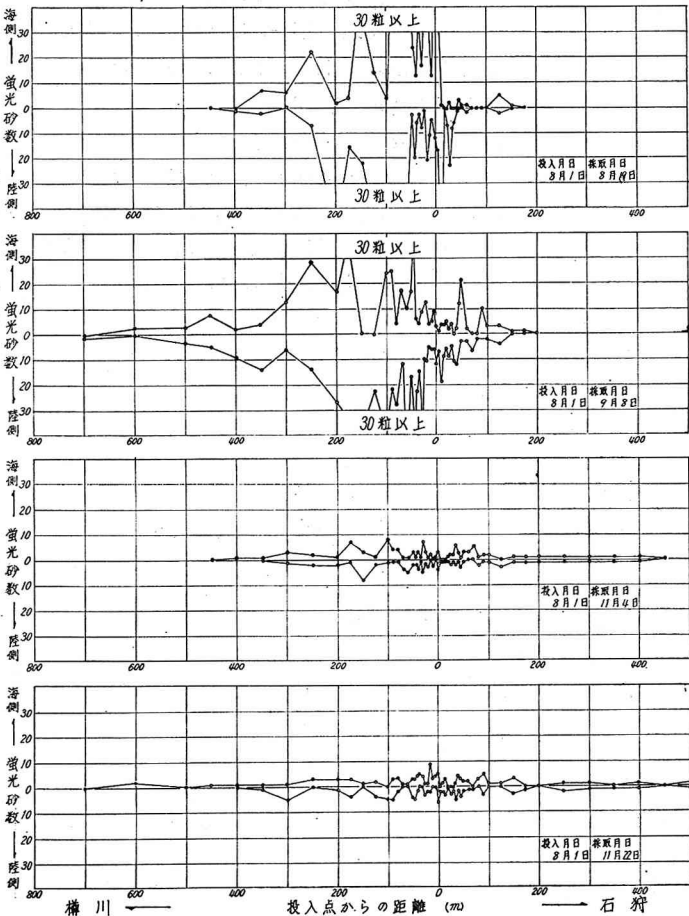


図-10 汀線付近の蛍光砂の移動状況

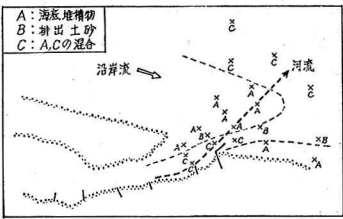


図-11 底質分布図（福島・柏村らによる）

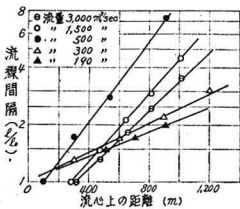


図-12 流線の広がり

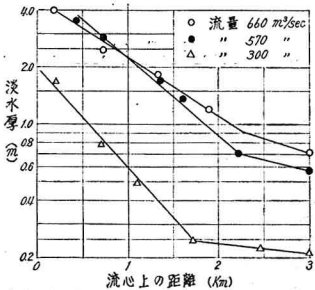
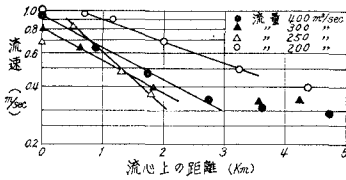
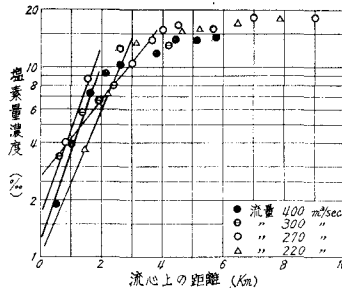


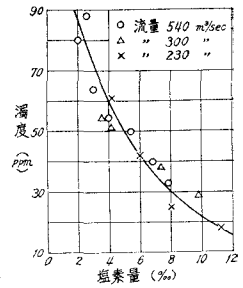
図-13 河口付近の淡水厚



図—14 表面の流速分布



図—15 表面塩素量の増加



図—16 濁度と塩素量の相関

では緩慢に増加することを示す。

河口付近の塩素量の増加が下層水の加入によるものとして、流線の広がり、淡水厚の減少、流速の減少を表わす関係を考えれば、塩素量の増加は次のように表わせる。

$$\begin{aligned} l duS + U_m \Delta x l S_0 \\ = (l + dl/dx \cdot \Delta x) \cdot \\ (d + dd/dx \cdot \Delta x) \cdot \\ (u + du/dx \cdot \Delta x) \cdot \\ (S + dS/dx \cdot \Delta x) \cdots (3) \end{aligned}$$

ここに、 S ：流線に沿った距離 x における淡水層の平均塩素量濃度、 S_0 ：

海水の塩素量、 Δx ：微小距離、 U_m ：下層塩分の上層への混入速度 $= K(U - 1.15 U_c)$ 、(ここに、 U ：2層の相対速度、 K ：定数 $= 3.5 \times 10^{-4}$ 、 U_c ：混合の始まる2層の相対速度)。

式(3)において2次以上の高次の項を無視し、 $U_m = KU$ において簡単にすると

$$dS/dx = KS_0/d_0 \cdot \exp(jx)$$

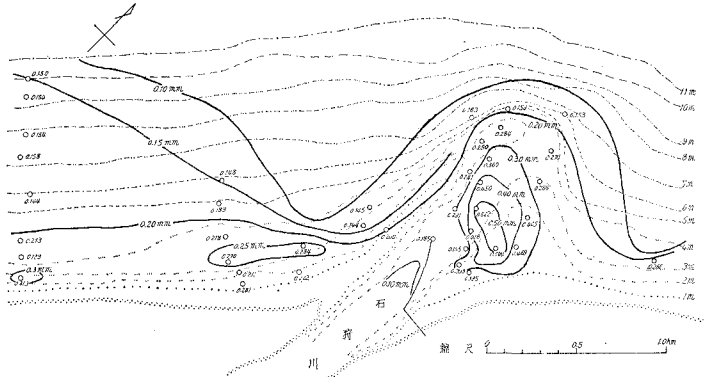
$$\therefore S = KS_0/jd_0 \cdot \exp(jx) + \text{const.} \cdots \cdots (4)$$

式(4)は塩素量濃度が指数関数的に増加することを示す。

c) 濁度分布

b) で述べたように、濁度は塩素量濃度とかなりの相関性を期待できるが、実際の測定結果によれば必ずしも簡単でない。採水資料を攪拌して放置すると数秒のうちに綿網化現象を起こし、小さな砂粒を包みながら次第に沈降するが、このような浮泥は海が静穏なら、なかなか希釈されずに移動し、局所的に集合して大きな濃度になったり、凝集して重量が大きくなると集団的に沈降したりするようである。しかし、時化が続いた直後の資料によれば両者の関係が明らかに認められる。

図—16は、河口から沖に3 km までの流心上の表面の濁度と塩素量の相関を示す。満田によれば、浮泥粒子の挙動は浮遊環境によって異なり、浮遊環境は淡水域、拡散域、塩水域の3つに分けられる³⁾。図は拡散域にお



図—17 河口付近の底質粒径分布

る浮泥の挙動を示すものであり、ほとんど強混合型で流出する築後川で得られた結果よりも勾配は緩いが、弱混合型で流出する石狩川の場合にも同じように逆相関の関係が得られたことは興味深い。

図—17は河口付近の底質の粒径分布図であるが、河口からほぼ1.5 km 沖合いの海底には泥質物が堆積していて、流線、淡水厚、流速、塩素量などの増減傾向と深い関係があることを示している。

6. む す び

この報文は、北海道開発局が行っている石狩湾沿岸調査からこれまでに得られた結果の概要を述べたものである。従来から沿岸漂砂現象におよぼす石狩川の役割りなど種々の調査研究が進められてきたが未知の点が多く、海域における淡水の広がり範囲などの点で本研究は新たな知見を与えるものと考えられる。

参 考 文 献

- 1) 石狩湾の自然条件について、北海道開発局港湾部・同土木試験所港湾研究室、昭45. 3.
- 2) 福島・柏村・八畝・高橋：石狩川河口の研究、第11回海岸工学講演会講演集、昭39. 11.
- 3) 柏村正和：河口密度流論、1965年度水工学に関する夏期講習会講演集、1965. 8.
- 4) 福島・柏村・八畝・高橋・大谷：石狩川河口の研究、第12回海岸工学講演会講演集、昭40. 11.
- 5) 満田雅男：海中浮泥の分布と満面への影響について、第15回海岸工学講演会講演集、昭43. 12.