

石狩川河口の研究(5)

福島 久雄*・八鍬 功**・高橋 将***・大谷 守正****

1. 序

筆者らは本講演会において、すでに4回にわたり、石狩川河口における海岸現象について、主として実測に基づく研究を発表してきたが^{(1),(2),(3),(4)}、今回は昭和44年3月から6月までの間に5回にわたって行なった河口外部の詳細な深浅測量の結果を検討し、同時に最近11年間の深浅測量の資料をもとにして、河口部の深度が毎年排出される土砂のためどのように変化しているかを考察することにする。また43年行なった河口流量の連続昼夜観測の時、併行して行なった淡水層と塩水層の境界面の上下変動の自記観測の整理もできたのであわせて発表することにした。

2. 河川流量による海底地形の変化

融雪洪水期には河川の流量が激増するので、河口部の海底地形には大きな変化が生ずる。とくに石狩川は大河川であって融雪期の流量増加が大きいので、河口部の海底地形変動も大きいものとおもわれる。筆者らは河川流量と海底地形変化との関係をするために昭和44年3月7日、4月1日、4月23日、5月23日および6月18日の5回にわたって石狩川河口部の詳細な深浅測量を行なった。すなわち導流堤沿いの12~13本(間隔約50m)の測線上を超音波測深機によって測深した。図-1は各回の深度50cmごとの等深線図である。

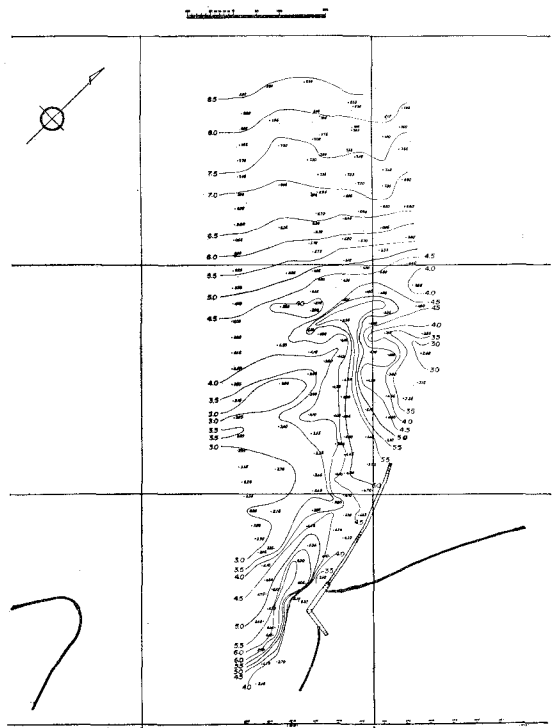
図によれば、3月7日(図-1(1))には導流堤に沿うみお筋は導流堤の中央部までは水深5.0mが維持されているが、中央部はやや浅くなり、導流堤先端から北西に向かって約400mにわたり水深5.0m、幅20mのみお筋が維持されている。またその延長上には水深4.5mの浅瀬があってその先は海岸線に平行な等深線に連っている。しかし4月1日(図-1(2))には導流堤先端付近の海底地形は大きく変化し、導流堤全域に沿って水深5.0m以上のみお筋が維持されているが、導流堤先端から北西にのびていた深部は消滅し、みお筋の延長上においても水深4.3m程度の浅瀬となっている。さらに次

回の4月23日(図-1(3))までの間に海底の形状は大きく変化し、導流堤沿いに水深7.0m、先端付近には8.0mの深部ができているが、河口の左岸から水深1.5m以下の浅瀬が大きく北に向かってのびている。当日はちょうど出水の激しい時期にあたり、この浅瀬付近は一面に波立っていた。また導流堤先端から300mの地点付近から幅約200m、水深2.0~2.5mの浅瀬が带状に発達し、みお筋はこの浅瀬によって中断されていた。5月23日(図-1(4))、6月18日(図-1(5))にも河口左岸から水深1.5m以下の浅瀬が北に向かって大きく張り出し、みお筋は水深2.5~3.0mの带状の浅瀬によってさえぎられており、4月23日の場合とくらべて海底形状には大きな変化がみられない。ただ6月18日には5月23日より導流堤に沿うみお筋が少し浅くなっている程度である。

つぎにこのような出水時における海底形状の変化と河

図-1 石狩川河口深浅図

(1) 昭和44年3月7日



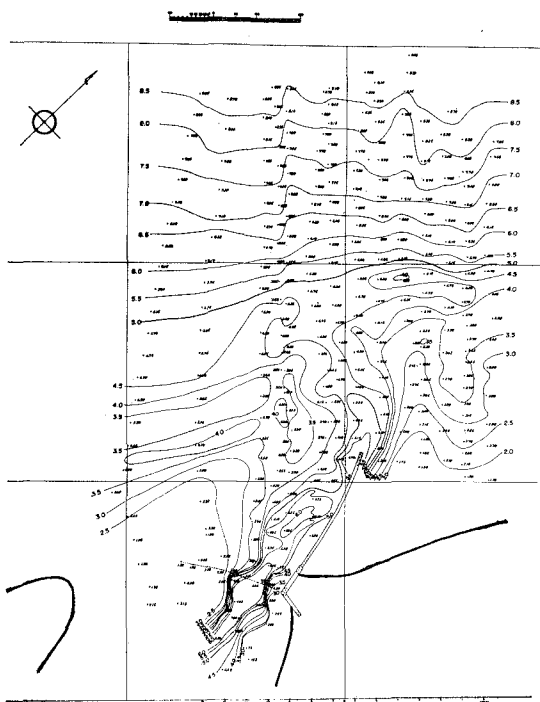
* 正会員 理博 北海道大学教授 工学部

** 正会員 理博 北海道大学助教授 工学部

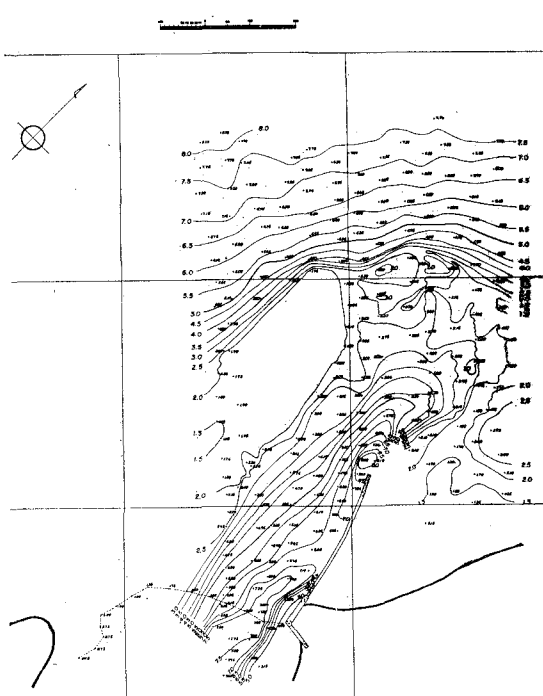
*** 北海道大学講師 工学部

**** 北海道大学助手 工学部

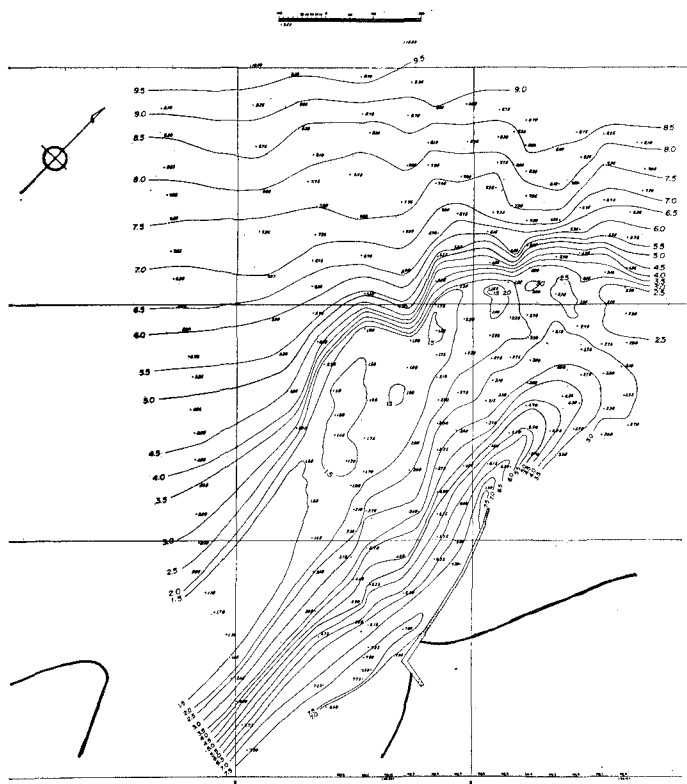
(2) 4月1日



(3) 4月23日



(4) 5月23日



川流量との関係について考察する。図—2は河口から約 26 km 上流の石狩大橋（江別）において北海道開発局が測定した昭和44年3月1日から6月30日までの石狩川の水位自記記録，図—3はその水位—流量曲線である。水塊が江別から河口まで到達するには8時間程度の時間がかかるものとおもわれるが，3月7日と4月1日との間には流量 $600 \text{ m}^3/\text{sec}$ ， $1100 \text{ m}^3/\text{sec}$ の2回の出水があり，また4月1日と4月23日との間には $1900 \text{ m}^3/\text{sec}$ におよぶ流量のピークがみられる。石狩川の融雪出水はこのピークから本格的になり，以後いくつかのピークを経て6月末まで徐々に減水している。3月7日（図—1(1)）と4月1日（図—1(2)）および4月1日と4月23日（図—1(3)）の間における海底形状の大きな変化はその間にあった大流量の出水によるものであらうとおもわれる。すなわち出水による強い流れによって導流堤に沿ったみお筋が洗掘されて，その土砂が下流側に堆積すること，および河口を出た河水の流速が減少するため多大の浮遊土砂の一部が沈殿堆積することによって，導流堤先端から約300 m 沖付近一帯の水深はかえって浅くなるのであらう。このように海底の形状が大

(5) 6月18日

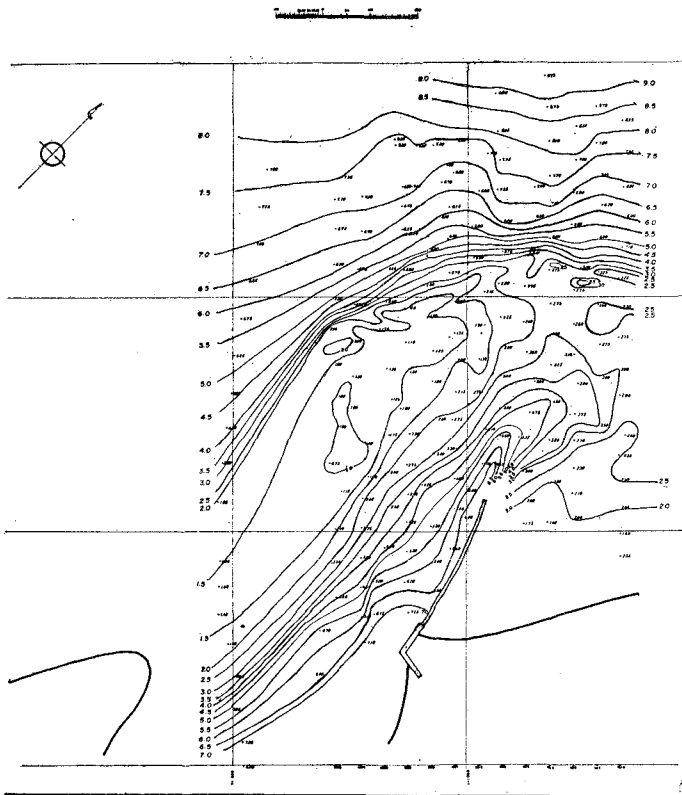


図-2 石狩川水位の変化 (石狩大橋)

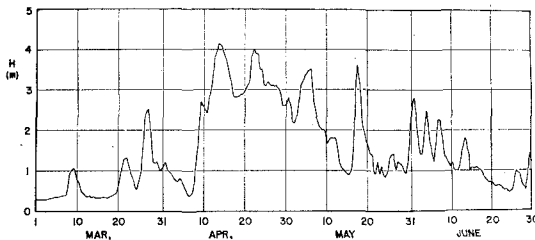
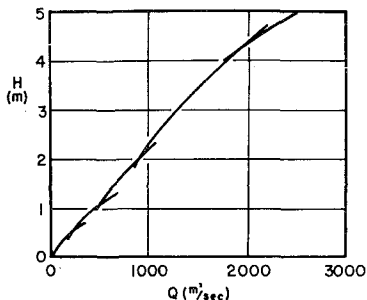


図-3 水位-流量曲線 (石狩大橋)



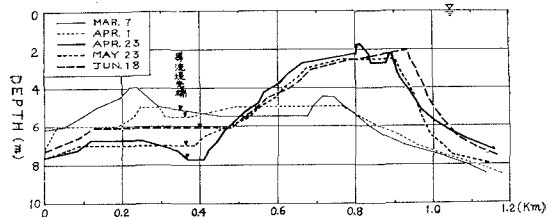
大きく変化するのは河川流量の変動が大きいとき、すなわち出水の初期であり、その後は流れの状態に大きな変化がなく、むしろ徐々に減少の方向に向かうので、4月23日、5月23日、6月18日には海底形状に大きな変化が

みとめられない。なお開発局の観測によれば、波浪がとくに高かったとおもわれる強い北風の吹いた日数は3月7日～4月1日の間9日、4月1日～4月23日の間4日、4月23日～5月23日の間6日、5月23日～6月18日の間2日で、波浪の高い日には波による土砂の移動も加わるものとおもわれる。

図-4 は潮位の変化を考慮して各回の水深を較正し、海底地形の変化の状況を示したものである。各測定時間の平均潮位は、最も潮位の低かった4月1日を基準にすれば、3月7日は +2 cm、4月23日 +28 cm、5月23日 +51 cm、6月18日 +43 cm であった。図は導流堤の基部を0点としてみお筋の海底形状を示したものであるが、各回ともみお筋が多少異なるので導流堤先端の位置も多少異なっている。前述のように4月1日と4月23日の間に海底地形が一変し、導流堤付近が洗掘されて深くなる一方、導流堤先端から200 mの地点から沖側には土砂が堆積して目立って水深が浅くなっているのがわかる。また4月23日、5月23日、6月18日の測定では海底形状に大きな変化がみられない。

なおこの観測は引続いて行なう予定であり、3月7日の観測でみられたような導流堤先端から沖にのびる水深5 m程度のみお筋が時期的に何時頃どのようにして形成されるかなどを明らかにしたい。

図-4 石狩川河口付近における海底形状の変動



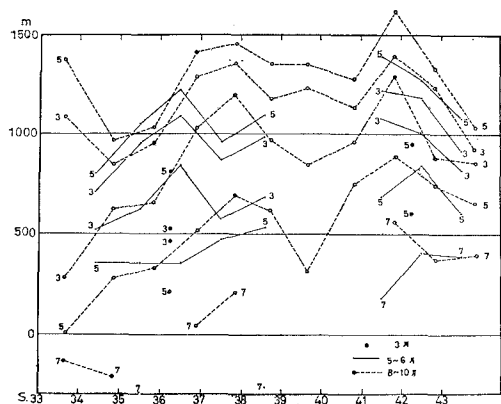
3. 河口における等深線の長期変動

前節において昭和44年3月から同6月までに行なった詳細な深浅測量の結果について述べたが、つぎに昭和33年から同43年に至る11年間の石狩川河口深浅測量の結果を使用して、同地点における堆積、洗掘の状況を考察する。

使用した資料の測定年月はつぎのとおりである。

昭和 33 年 8 月
34 年 5 月, 10 月
35 年 6 月, 10 月

図-5



36 年 3 月, 6 月, 11 月

37 年 6 月, 10 月

38 年 7 月, 9 月

39 年 8 月

40 年 10 月

41 年 6 月, 10 月

42 年 3 月, 6 月, 10 月

43 年 6 月, 10 月

まずこれらの深淺図から河川的最深部の線, すなわちみお筋を描き, これを海上に延長する。この線は海中では舌状をなして張り出た堆積の尾根に相当する線となる。つぎにみお筋と等深線との交点を定め, この交点と基準点との距離をみお筋に沿って測定した。図-5 のたて軸はこの距離をとったもので, 横軸は測定の年月である。基準点としては図-1 に示された導流堤の上流 250 m の所にある突堤の延長とみお筋との交点を選んだ。

等深線は 7 m から 2 m まで, 1 m おきにあるが, 繁雑をさけて 7 m, 5 m, 3 m を使用した。図-5 の中の 7, 5, 3 等の数字は, それぞれ深度 7 m, 5 m, 3 m のみお筋上の点の消長を示している。下方から 7 m, 5 m, 3 m の点はいずれも河川内のみお筋上の点であって, 河口の洗掘部の等深線の先端にあたる点の位置を示すものである。また図の上方の 5 m, 3 m の点は海の沖側に引かれた等深線とみお筋との交点の位置を示している。2 つの 3 m と 3 m の間はいわゆる浅瀬と称する部分になるが, 石狩河口の場合にはこの間に深度 2 m の点は存在しない。したがって測量した値に関する限り全期間を通じて河口の深度は 2 m と 3 m との間にあったとすることができる。ただ昭和 42 年 3 月の測定では河口のみお筋の最も浅い地点でも 4~5 m の深度を保っていたことを示している。

石狩川河口においては昭和 36 年以來右岸に導流堤が設けられ, 昭和 43 年までにみお筋に沿って 360 m に延長された。この点を考慮に入れて図-5 から得られる結果を述べるとつぎのごとくなる。

(1) 沖側における深度 5 m, 3 m の 2 点はほぼ平行な変化を示している。しかもそれらは過去 11 年の間にとくに沖側に進出したということもなく, 顕著な一方への移動傾向は示されていない。時には凸出部をなして沖側に進出したこともあるが (たとえば昭和 33 年 8 月, 41 年 6 月, 10 月, 42 年 6 月など), 翌年には平坦に近くなって回復している。したがって現在では堆積により等深線が沖側に前進する傾向はみられず, 外力との平衡は保たれている。

(2) 河口内部の深度 7 m の点はみお筋上を河口外に向かって前進している。深度 5 m の点にもその傾向をみることができる。すなわち河口内の洗掘部分は海に向かって前進の傾向にある。

(3) 同一の年の夏期と秋期とを比較するとつぎのような分類ができる。(i) 比較的似ている (昭和 34, 35, 42, 43 年), (ii) 変化している (昭和 33, 36, 37, 41 年), (iii) 一部変化している (昭和 38 年), (iv) 資料不足で判定しがたい (他の残りの年), 一般に 5~6 月の方が融雪時出水の直後のため堆積が多く, 等深線が前進していると考えられるが, この場合はむしろ秋期の方が前進している。

(4) 早春の資料はきわめて少なく, 3 月の 2 例があるのみであるが, いずれも堆積は著しく減少しており, 冬季から出水前に至る期間は一年中で最も水深が大であることを暗示している。前節に述べた観測 (昭和 44 年 3 月 7 日) も, この結果とよく一致している。

(5) 河口内部の深い部分が沖に向かって前進し, 沖側の 5 m, 3 m 深度の点がみお筋上を河口に向かって接近している傾向が近年みられるので, 3 m 台の浅瀬帯の幅はしだいに狭くなっている。時には気象状態により多少の偏差はあるであろうが, 突堤の効果はしだいに顕著になってきていると考えられる。

冬期における北海道の河川は, 降雪, 凍結などのため流量の減少が起こり, 漂砂の移動のはげしい海岸の河口は閉塞またはそれに近い現象がみられることが多い。しかし石狩川河口においては漂砂移動が比較的少なく, むしろ冬季には堆積が減少する傾向がみられ, 冬季から早春の最初の融雪出水の直前までの間において年間最大の水深をもつことが推定される。図-5 における屈折線の形と月間平均流量との比較を試みたが得る所はなかった。流量日変化との関係は今後の課題である。

4. 二層境界面の変動

昭和 43 年 7 月 15 日から 17 日までの間, 河口から 4.5 km 上流の地点において, 河中の電気伝導度垂直分布の自記測定を行なった。

その結果, 塩水くさび境界面が周期的に昇降している様子を知ることができた。

図-6

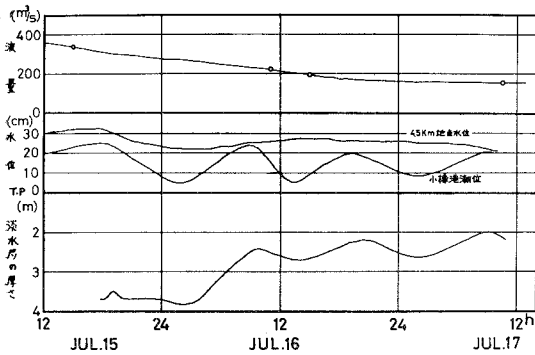


図-6 は境界面昇降の時間的変化を示したものである。境界面の昇降の原因としては、河口外の潮位変動と、河水流量の変化が主たるものと考えられるので、石狩川河口の潮位変動にほぼ一致すると見られる小樽港の潮位と、この観測期間中数回測定した河水流量、ならびに 4.5 km 地点の水位記録をあわせて示してある。

これから境界面は潮位変動に対して若干の遅れをもって大体同じ周期で振動しているうえに、河水流量の変化によるとみられる大きな変動をすることがわかる。

潮位、流量それぞれの境界面の変動に与える効果は、二つの変化が重なりあって同時に起こっているため、明確に分離はできないけれども、図-6 のごとく 16 日 10 時頃より観測終了の 17 日 12 時頃までの約 26 時間に限れば、流量が単調な減少を示しているので、境界面の変動は主として潮汐の効果が流量のそれに対して強く現われていると考えられる。

そこでこの時間内における潮汐と境界面の振動をくわしく調べた結果、それぞれ対応する極大極小の出現時刻、振幅その他は表-1 のとおりであった。

これによると、河口から 4.5 km 上流地点の境界面振動は河口の潮位変動より十数分から一時間余の遅れとなり、またその振幅は 1.5~5 倍程度に増幅されていることがわかる。

振動の時間遅れは一定ではなく、かなりの幅があって単純な伝播の機構では説明できないようである。

仮にこの時間の遅れを内部波の伝播としてみると、観測時におけるつぎのごとき各種の平均値、

表-1

満, 干潮時刻	9h 12min	13h 25min	19h 13min	1h 58min	9h 00min
境界面極値出現時刻	9 50	13 54	20 24	2 30	9 12
遅れ時間	38	29	1 11	32	12
潮位(T.P上)	23.9 cm	4.8 cm	19.5 cm	8.2 cm	20.4 cm
潮 差	19.1 cm	14.7 cm	11.3 cm	12.2 cm	
境界面深度	240 cm	270 cm	217 cm	260 cm	200 cm
境界面昇降差	30 cm	53 cm	43 cm	60 cm	
昇降差/潮 差	1.57	3.61	3.81	4.91	

河口から 4.5 km 上流までの平均水深	6.5 m
境界面の平均水深	2.4 m
上層淡水の平均流速	50 cm/sec
下層塩水の平均流速	0 cm/sec
上層水比重	$\rho_1=1.00$
下層水比重	$\rho_2=1.02$

によって、有限水深の二重層における内部波の速度として、約 30 cm/sec なる値が求められる。したがって 4.5 km 上流へ達するには 4 時間余を要することになるが、実測による境界面の変動の時間遅れは平均 36 分 24 秒であったから、6 倍以上の大きな開きがあり、内部波伝播として取り扱えないことがわかる。

潮汐による下層塩水の質量移動として考えるならば、このようなわずかの時間遅れは説明できると思われるが、潮汐の一周にわたる塩水層の流速測定はできなかったこと、また数回測定した塩水層の流速が 0~2 m/sec と小さな値であったことなどを考慮すると質量移動とした場合の妥当性がどれだけあるかいまだ不明である。

潮位変動が境界面において増幅される原因については、境界面では上下層の密度差が小さいことを考えればよい。

図-6 において境界面および潮位が変動するにもかかわらず、河面水位がほぼ一定を保っているが、これは潮差の大きい海に開口している河川には見られない現象であり、このことから潮位が上昇しこれに伴って境界面が上昇するため淡水層はうすくなり同時に水面勾配も小さくなるが、一定流量を保つために流速が大きくなる傾向が予想されるが、流速の実測結果からもこのような現象が見出される。したがって石狩川の塩水くさびが出入りする河口から 15 km 上流までの間では水面勾配の大小と流速の大小とは逆の傾向を示して水位流量曲線は定められない。

図-6 の流量曲線と水位曲線の関係を見ればこの間の事情は明らかである。

川面の水位を一定とし静水圧のバランスだけを考えた場合の境界面の変動は、河口の変動の $\frac{\rho_2}{\rho_2 - \rho_1}$ 倍となることがわかる。 $\rho_1=1.00$, $\rho_2=1.02$ とすれば境界面では河口の変動の 51 倍の変動が現われることになるが、実際には上層淡水の流れによる摩擦等の損失によって実測された程度の変動に押えられるのであろう。

天塩川での観測では潮差に対して境界面の変動は 7.1 倍であるという報告がある⁵⁾。

他方河水流量の変化によって起こる境界面の変動は潮汐によるそれよりもはるかに大きい、この場合には大きな塩水くさびの前進や後退を伴うので塩水くさび全体にわたる勾配や、それまでの前進後退の過程をも合わせ考えねばならず、図-6 に示した一例だけから両者の関係を云々することは早計であり、今後の同種の観測の結

果を得たうえで改めて論ずることにする。

終りにこの研究が一部を文部省科学研究費(特定研究)によったことを付記し、また例年石狩川河口の観測に際し寄せられる北海道開発局土木試験所、同石狩川開発建設部、ならびに石狩町当局のご援助に対し厚く感謝の意を表する。

参 考 文 献

- 1) 福島・柏村・八鍬・高橋：石狩川河口の研究 (1)，第 11 回海岸工学講演会講演集，昭 39.
- 2) 福島・柏村・八鍬・高橋・大谷：石狩川河口の研究 (2)，第 12 回海岸工学講演会講演集，昭 40.
- 3) 福島・八鍬・高橋・大谷：石狩川河口の研究 (3)，第 13 回海岸工学講演会講演集，昭 41.
- 4) 福島・八鍬・高橋・柏村：石狩川河口の研究 (4)，第 14 回海岸工学講演会講演集，昭 42.
- 5) 柏村：河口における二重水層 (2)，北大工学部 研究報告 第 28 号，昭 37.