

石狩川河口の研究(3)

福島久雄*・八 鍬 功**・高 橋 将***・大谷守正****

1. 緒 言

昭和 41 年 7 月 13 日から同 16 日まで石狩川河口において同地域における海岸工学的な調査研究を行なった。その主要な題目は、(1) 河口付近数箇所の断面における水温、流速、塩素量、電気伝導度の鉛直分布、(2) テレメーター方式によるステップ式波高計の試作とそれによる波浪観測、(3) 超音波波浪計による河口波浪の観測、(4) 河口外の表面流のひろがりの測定、(5) 塩水くさびの超音波による観測、(6) 塩水くさびの上を流れる河水表面塩素量の観測、(7) 河口から離れた砂浜海岸の浮游漂砂分布の観測、(8) 地層探査機による河口付近底質の探査等である。そのうちの一部を以下に報告する。

2. 石狩河口における波浪

石狩海岸の波浪観測は、超音波波浪計¹⁾によって 1964 年から行なっており、現在観測資料の解析中であるが、これとは別に本年はテレメーター方式のステップ波浪計を試作し、両波浪計によって石狩川河口の河流域と河流の影響のない海岸波浪の観測を行なって、強い流れによる波浪の変形の様子を調べてみた。

試作したステップ波浪計は、ステップ間隔 20 cm、ステップ数 21 個のプラスチック製でブイとアンカーによって海中に直立させる簡単なものである。したがって観測可能な波高は潮位差を考慮すれば最大約 3 m 程度である。

波浪信号としては、トランジスターによる可聴周波発振器の周波数を波高に応じて変化させたものを用い、これにより搬送波を変調し送信する方式を用いた。

1 ステップの波高変化によって 50 c/s 周波数が変化するようにし、受信側では復調した波浪信号をテープレコーダーに記録し、さらにレートメーターにより波浪波形を再生する。このようにして得た波形を図-1 に、また超音波波浪計の記録を図-2 に示す。写真-1 はステップ波浪計の海上における状況であるが、ステップポール頭部にトランジスター送信機、アンテナ、電源を装着

図-1 ステップ波浪計記録

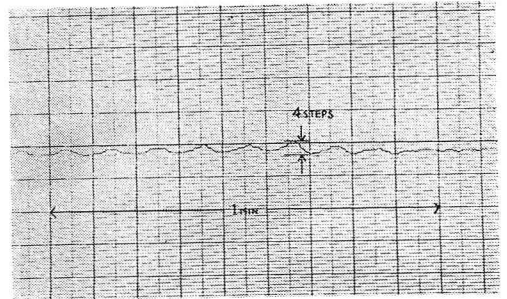


図-2 超音波波浪計記録

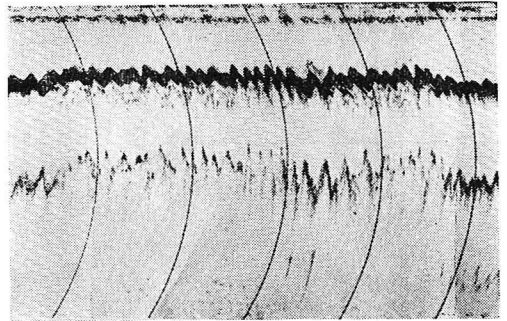
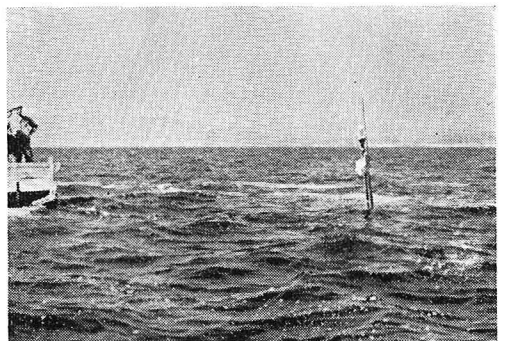


写真-1



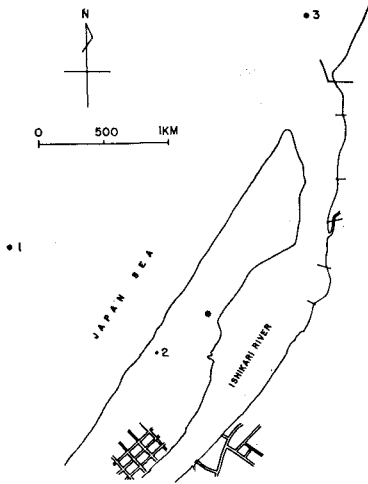
してあり、いずれも防水ケースに入れ全体が水中に没することがあっても完全な動作をなすようにしてある。

超音波波浪計によればほとんど正確な波形が記録されるので問題はないが、ステップ波浪計の記録は正確な波形を示さない上に、波浪の程度によりその精度が変化しこれは統計処理上で信頼度に関係する。

観測期間中は波高が 1 m に達することがなかったの
でステップ間隔 20 cm に対してはあまり精度の良くな

* 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	同
*** 正会員		北海道大学講師	同
**** 正会員		北海道大学助手	同

図-3 波浪観測地点



い波形であるので、両波浪計の記録を直接比較することはされた。

図-3 は両波浪計での波浪観測位置を示したもので図中1はステップ波浪計設置地点、2は同受信地点、3は超音波波浪計による観測地点である。

ステップ波浪計による観測は1日4回6時間おきにタイマーにより約30分間自動記録を行なうほか、任意に手動に切り換えて記録も行なった。

図-4、図-5、表-1 はそのうちの二例を整理したもので、三角印は7月13日の手動による記録、丸印は14日の自動記録によるものである。この二例を含めた多くの記録から、石狩海岸では少なくとも波高1m程度までの波については、波高頻度分布は正規分布に近く、周期は対数正規分布を示すと考えられる結果を得た。

図-5 において長い周期の部分で乱れているのは、前

図-4

図-5

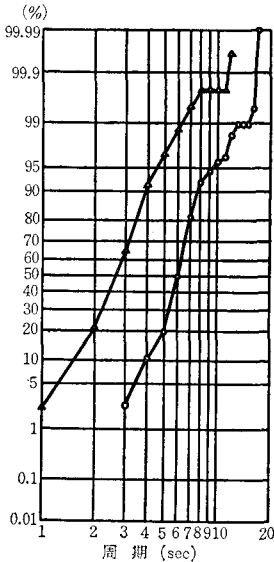
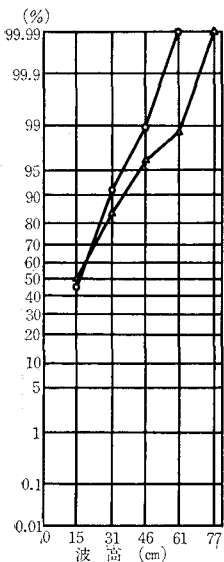


表-1

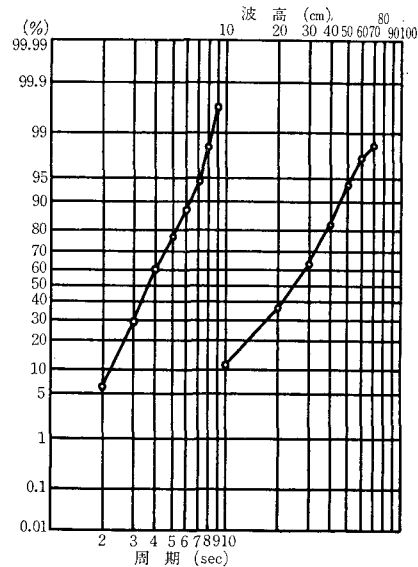
	地点 1	地点 3
	1966. 7. 13 16h 55 m ~ 17h 15 m	1966. 7. 14 12h 05 m ~ 12h 25 m
風 向	NE	SSW
風 速 (m/sec)	3.7	2.3
水 深 (m)	12	3
最高波高 (cm)	77	61
平均波高 (cm)	26.4	25.1
平均周期 (sec)	2.83	6.23
流 速 (cm/sec)	?	10以下
		70~80

述したステップ波浪計の精度の悪さが現われたものであって、実際には周期 8~11 sec あるいは 13~15 sec のうねりが存在しているのであるが、波高が小さくてステップにかからず、この周期範囲の数個の波が、より長い周期の波1個として扱われたためである。

なおステップ ポールは頭部に重量がかかりすぎ直立せず、40° の傾斜があり、記録上の1ステップを15 cm として扱った。

図-6 は河口流心における超音波波浪計の記録を整理したもので、観測時間はステップ波浪計の記録と比較するため図-4、図-5 の丸印の記録と合わせてある。

図-6



両地点の水深が異なっているの
で簡単な考
察にとどめ
るが、海底
における摩
擦を無視す
ると波浪周
期は水深変
化に無関係
であるから、一般海
岸で示す波
の周期分布
の形は水深
のいかに
かわらず

流れのある場所でもそのままに保たれると考えられる。

図-5 と図-6 はこの考えが正しいことを示すものと見てよく、一般海岸での対数正規分布が、流れのある河口域でもそのまま対数正規分布となって現われている。

周期の数値自体について見れば、一般海岸において平均周期 6.23 sec であるものが河口流心では 4.05 sec となり、同様に頻度分布 97.7% における周期はそれぞれ 11 sec および 7.8 sec、2.3% において 3.2 sec および 1.7 sec といずれも流れのある地点では周期が小さくなる性質が見られ、先に報告したところ²⁾とも一致する。

両波浪計の記録から波高の変化を比較すると、周期の場合と異なりその分布の形がかわっているのが注目される。一般海岸で正規分布を示したものが、河口流心では対数正規分布となった。

この場合、両観測点の水深の違いは波高に無関係ではないので、周期の扱い方のように簡単でない。

水深が波長よりも小さくなると波は変形し波高が大きくなり、波長が小さくなるから、波高の変化を流れによるものと水深変化によるものに分けなければならない。

しかし水深変化による波高の変化は、個々の波について、その波長が知れていなければ計算できず、今回の観測では波長測定を行なわなかったため、強い流れのある場所での波高変化については不明である。

表-1によれば流れがある地点3の波高が、地点1の波高より大きくなっているけれども、これを流れのためと断言はできない。ただ流れによる波高変化を調べる別の方法として、一般海岸、河流域ともに同一水深の地点で観測できれば都合が良いが、実際には河口付近の流れの強い地域は水深が小さく、同じ水深の一般海岸は普通砕波帯であるため観測はむずかしい。

1963年11月には同一水深に近い条件で観測を行なったが観測時刻が若干ずれており、いくらか割り引いて考えなければならないけれども表-2として示す。

表-2

	一般海岸	河 流 中 心
1963.11.25		
	13h56m~14h16m	11h56m~12h16m
風 向	S80E	S80E
風 速 (m/sec)	0	0
水 深 (m)	3.8	3.2
最高波高 (cm)	90.0	82.9
平均波高 (cm)	40.1	34.4
平均周期 (sec)	5.94	5.22

これによると流れが波高に与える影響は波高を小さくするように働くものようである。

この時の波高頻度分布も一般海岸で正規分布に近く、河口流心において対数正規分布になっていた。

波高頻度分布の変化については、このような統計的な考察からは解明できないので、波浪の本質的な面からは周波数分析など、また他の面では海底地形、河川流量、流速あるいは河水の乱流など多くの測定が必要と思われる、より綿密な調査を行なう予定である。

3. 表面塩素量の分布

筆者の一人はかつて石狩川河口近くの下流各地点で表面採水を行ない、モール氏法によって塩素量を求め、河口二重層が形成されている場合に、下層の海水層からどのように河水層に拡散が行なわれているかを調べたことがあった。この測定はすでに数年前に行なわれたが²⁾、今回は測点を密にし、同時に筆者らが近年開発した超音

波法により、塩水くさびを監視しつつ比較的短時間に一連の観測をすることにした。使用した船は約3tの小型漁船で、採水は航行中に舷側より行ない、いったんビンをその試料水の一部で洗滌した後試料水を注入した。ビンはガラス製 500cc であらかじめ実験室で蒸留水を用いて洗滌したものを用意し、封入後は実験室に送って上述の分析を行なった。

図-7は測定地点、図-8はその結果を示した表面水塩素量分布図で、横軸は河口からの距離、縦軸は表面水塩素量(%)を対数目盛で表わしたものである。測点の数は9.4kmの間に24個であって前観測にくらべてずっと稠密である。使用した硝酸銀の濃度のため0.01%以下の塩素量に関しては精密な数字が得られなかったが

図-7 表面採水地点

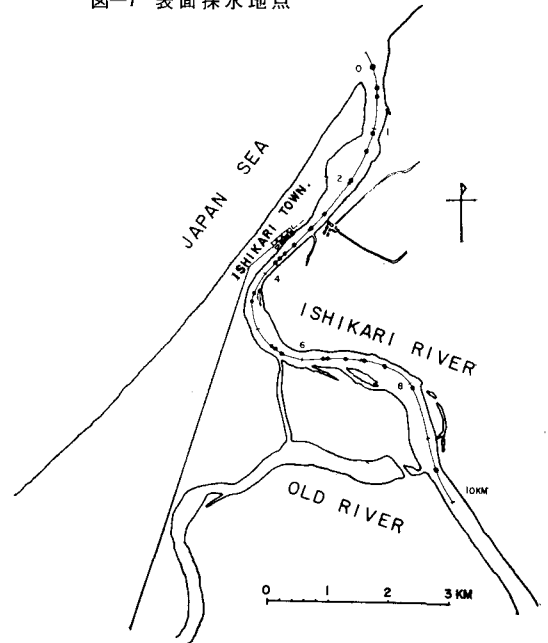
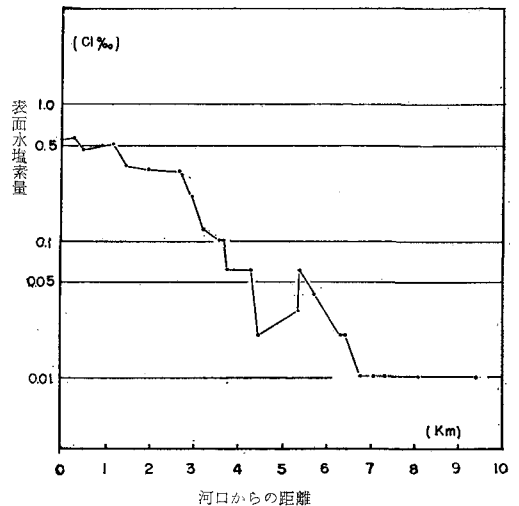


図-8 表面水塩素量分布



それでも河口付近の河の表面水が底層の塩水くさびから次第に塩素を補給されつつ流下してゆく状態がわかり、地域的にそれぞれの特性をもっていることがよく示されている。

図-8 の中で最も右端は塩水くさびの先端がとどいている所でそれから下った 6.8 km の地点までは、塩水の混合が測定上は認められない地域である。測定をもっとくわしくすれば多少この部分の線は右下に傾斜するかも知れない。

6.7 km より 5.4 km にいたる部分は表面塩素量が指数関数的な増加を示しており、その係数はほぼ 1.3/km である。そこから二点だけはいちじるしい塩素量の減少があるが、再び回復して 3.8 km から 2.7 km に至るまでほぼ 1.3/km の増加係数である。これから以後河口までに多少の偏差はあるが 1 km 当りの増加係数は平均 0.24 となっていちじるしい減少を示している。10 km 近くにはわたる石狩川下流部分において表面塩素量がこのように明らかないくつかの区域に分けられるような増加状態にあることは面白いことであって、明確な物理的原因が考えられる。

図-8 の中で最も注意をひくのは 4.5 km と 5.4 km 地点のいちじるしい塩素量の減少である。河口付近で河が直線状をなし、河底が平坦で上流にゆくに従い塩水くさびが次第に薄くなってゆく理想な場合は、上層の河水中の塩素量の濃度が増加する一方であるのはもちろんであって、実際の河川でもそれに近い場合も非常に多いが、たまたまこの理想的な分布を乱す若干の原因もまた存在する。その一つは新しい水系の流入であって、上に述べた 4.5 km 地点の上流側に左岸に排水溝があり、また 5.4 km 地点には小運河が同じく左岸にあり、その奥には旧石狩川が広大な水面をもっている。旧石狩川は特に流入する大きな河川がなく石狩川との間にはこの小運河を通して潮汐による水位差の調節があるだけである。この旧川についての調査研究は従来必要を感じながら実行の機会がなかったが、幸いに今年からその機会を得たのでその実体が明らかになると思われる。これらの排水または旧川の水の一部が流入する場合は地形上左岸に沿って流れ、簡単に混合することなく流下してゆくので、たまたま観測船がこの水塊に入って表層の採水を行なうと上図のような不連続な観測値を得ることが考えられる。

下流に向かって塩素量が減少するのはこの他に図の左端の 0 km 地点と 0.3 km 地点、および 0.5 km 地点と 1.2 km 地点との間にみられる。この地点は石狩川の最下流部で 2.7 km 地点から下流は表面塩素量の曲線も一変して復傾斜となり、河幅も急にひろくなっている地形ともよく一致する。ただこの場合流心は一般に塩素量が少なく、上下両層の界面は比較的明らかであるが、岸辺

の近くでは塩素量も若干異なりその鉛直分布もゆるやかに変化するのがふつうである。その他この地区には右岸に数本の水制があって流速分布は鉛直、水平方向にもかなり異なるものがあるので塩素量の表面分布も一様でなく、観測船もこのような場合に流心を定めにくいでジグザグな曲線を得たものと考えられる。

上の場合とは反対に増加の割合が急激に高くなっているのは 3.75 km 地点とその下流側の間である。この地点は、すでに前報にあるように河底に急激な突起ができて岸から直角に突出していて、そこに起こされた乱れとその乱れが下流に向かって拡散してゆく状態は超音波による記録紙に明らかに記録されているので、原因がこれによることは疑い余地がなく、河幅の狭いこともその傾向を助長していると考えられる。この地点で行なわれた塩素量、水温等の鉛直分布の観測は多数あるが、二重層の境界面では他の地点にくらべて変化がゆるやかなことが多いので注意されていたものである。

4. 石狩川河口付近の地層探査

河流による浸食や堆積を調べるには、流れそのものの特性はもちろん必要であるが、河底の形やさらには河底の内部構造をしらなければならない。すなわち河底の形状が同一であっても、河底が比較的やわらかい泥や砂から成っているかあるいは固い岩から成っているかによって、浸食の状況も大きく変化するであろうとおもわれる。筆者らは音波地層探査機(海上電機製)により、石狩川河口部および旧川の河底地層構造を調べる機会をえたのでその結果の概略について述べる。

この地層探査機は減衰の少ない低周波(3 kc)の超音波

図-9 地層探査区間

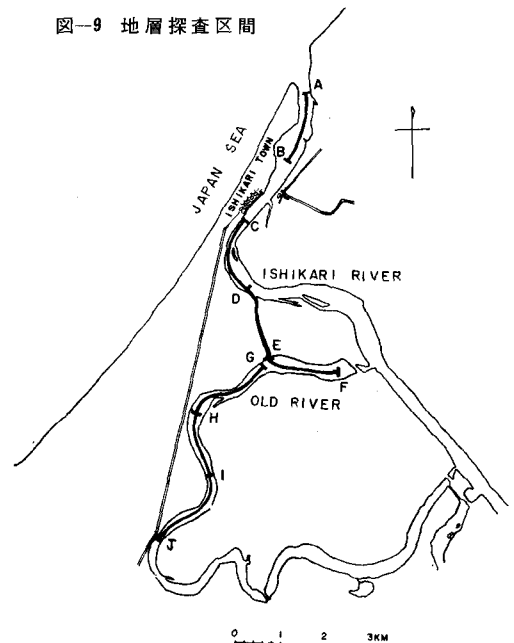
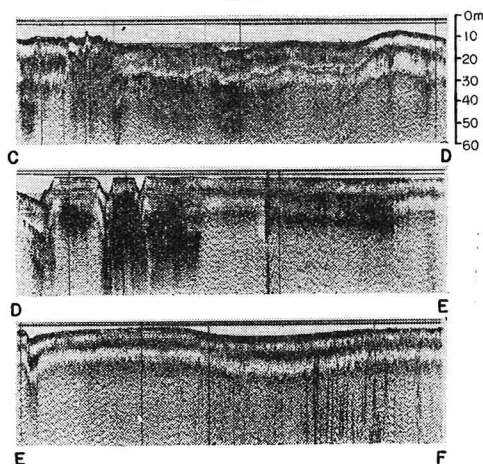
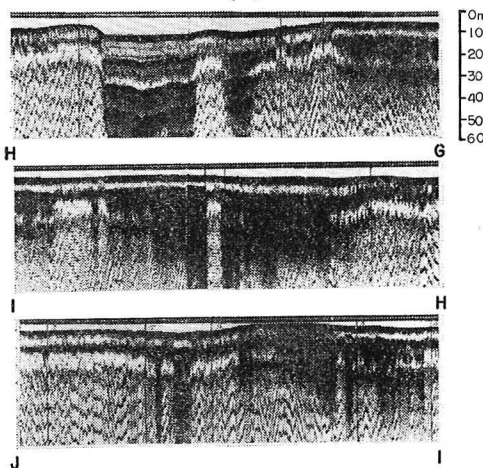
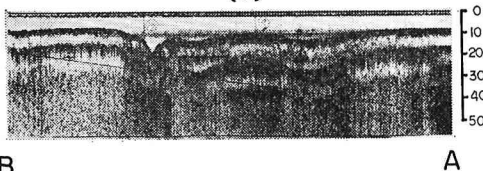


写真-2 地層探査記録
(1)

(2)



(3)



を用いたもので測深機の場合と同様、探査機を働かせながら 3~4 ノットの速度で航行すればその区間の河底の形と同時に、河底内部の地層不連続面を連続記録することができる。図-9 は探査区間の一部を示したものであるが、同区間の記録は写真-2 に示してある。河底が比較的固い底質から成っているときは、音波の二次、三次の反射が記録されるから、記録中濃い反射線が何段にも走っている区間は固い底質の河底であり、また地中に河底と平行にあるいは不規則に黒くみえるのは上層とは質の異なる砂利層や岩盤が存在することを示している。

写真-2 (2) は旧川の地層で、所々に固い底質の部分や地中水平に走る層がみられる。また浅い部分には、約 50 cm の厚さのやわらかい泥が、底の表面をおおってい

るのがわかる。旧川は 1 本の運河によって石狩川本流と連結されており、常時流れてはいないが、本流にくらべて川幅が狭く、水深の浅い運河では、潮汐の干満により本流側あるいは旧川側へ最大 30~40 cm/sec 程度のかかなり早い流れを生ずる。写真-2 (1) DE にみられる運河内 2 カ所大きな凹部は、運河にかかっている橋の橋脚の前、後方にあるもので、これは流れの往復運動の際橋脚の後方に生ずる渦によって河底がせん掘されるために生じたものであろうとおもわれる。記録によれば表層近く水平に走っている地層がそのままえぐられたようになっており、この凹部は地質構造には関係なく外部からの力でできたものであることがわかる。しかし運河と本流の合流点付近にみられる凹部では最深部に地層の境界面がみえており、この凹部は異質の層の境界面に沿ってできたものであることを示している。

本流河口付近はところどころに固い底質の層がみられる以外、概して一様な底部構造をもっているようであるが、写真-2 (1) CD の河口から約 3.7 km 付近では河底の内部から岩とおもわれる異質の層がもり上っており、河底の形状もきわめて不規則で多くの凹凸がみられるが、とくに大きな突起がある部分では流れが複雑で常に渦をまいており、いままでの観測によっても 2 重水層の境界の厚さがここで急激に変化し、その影響が川下約 1 km にもおよんでいることが確かめられている。

写真-2 (3) の河口から 1.4 km 付近が急激に深くなっているがこれは右岸に水制があるため流れが乱されて生ずる渦によって河底がせん掘されるからである。しかし河底内部に固い質の層が走っており、せん掘がその層で止められていることが記録に示されている。

以上石狩川河口付近の地層探査記録についての概略を述べたのであるが、河川の浸食は河底の地質構造と密接な関係があることがわかり、さらに解析を進めればきわめて興味ある結果がえられるものとおもわれる。

石狩川の河口の調査研究は本学工業力学第二講座と協同行なわれたもので上述の報告はその一部である。現地観測の実施については北海道開発局土木試験所に負う所大きく、特に古谷浩三所長、応用理化学研究室長村木博士に感謝の意を表する。また現地の小樽開発建設部東山崎築港課長、同石狩港修築事業所長上山元弘氏、研究観測面における工業力学第二講座柏村教授の協力についても厚く感謝の意を表する。

また費用の一部は文部省科学研究費によったことを付記する。

参 考 文 献

- 1) 福島・柏村・八鉢・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 年。
- 2) 福島・柏村・八鉢・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 年。
- 3) Otubo, K. and Fukushima, H.: Density current in river mouth with small tidal range, I.A.H.R. 8th Congr., 1959.