

河 口 流 と 潮 汐 と 地 形

柏 村 正 和*・吉 田 静 男**

1. 序 文

河口の流れは、淡水と海水の相互作用によって、いわゆる河口密度流を形成していることは衆知のとおりである。その実体は現地観測や室内実験を通じてかなり明らかになっては来たが、いまだに複雑な理解しにくい現象を多く秘めており、完全な理解のためにはまだまだ努力を払わねばならないと思われる。

筆者らが今までに明らかにした河口流の性質を整理してみると、その主なものは、一応、次のようなものである^{1)~11)}。

- (1) 淡水の流出時のパターンは密度流型(A型)と噴流型(E型)を両極端とし、その間に遷移的なパターン(B, C, D型)を含む5種に大別される。
- (2) 各パターンを生ずる水理条件は淡水流速、河口幅、淡塩水の密度差、粘性等により作られる無次元パラメーターにより規定されている。
- (3) 塩水は下層を遡上し、上層を流下する淡水に次第に混入するため、塩分は鉛直面内で循環を生じている。このため表層の淡水は川の下流ほど塩分濃度が高く、河口を過ぎると激増する。
- (4) 淡水は河口を過ぎると急激にその厚みを失い、そのため一時的に加速され、河口を出てから河口幅の約0.6~1.5倍沖あたりの流心に最も速い流速を示す。これは流出のパターンにかかわらず現われ、河口密度流の一つの特徴である。
- (5) A型に近い比較的流速のおそい淡水流出の場合は、流心の一時加速の他に、河口兩岸の角の部分できわめて速い流速が現われる。これはパターンが噴流型に近づくとき次第に顕著でなくなる。

大要は以上のとおりであって、現地でも実験でも認められているものである。しかし、河口流の実情はまだ多くの複雑な内容を持っていて、以上の理解はその一部にすぎない。たとえば、潮汐によって河口流がどのように周期的変化を示すかとか、また潮差が大きいと、弱混合型から、緩混合型の密度流の形式へ、どのような機構で移行していくかなどの問題など、実態がなかなかつかみ

にくい。また、地形的要素、たとえば河道が斜めに海に突入する場合とか、河道が弯曲して流入するような場合は、淡水層の分布や、流速分布に、理解しにくい現象がよく見られる。

本論文は、最近河口流に対する潮汐や地形の影響を調べるための実験を開始し、多くの観測結果が集まりつつあるが、そのなかから、現地観測ともよく符合している二、三の現象について紹介しようとするものである。

2. 潮汐と河口流の関係

ここでは、潮汐によって、塩水、淡水各層の流れがどのように変動するかを取り上げる。流量を数種変えて潮汐の位相に対応する流れの状況や、淡水中の塩分濃度の変化を見ようというものである。

実験水槽は幅3m、奥行2m、深さ20cmの塩水を満たしたものを海と見なし、底部にビニールを敷いて塩水を遮断し、その中へ淡水を周期的に出入せしめることにより海面の上昇下降を行なわせるものである。その水槽に長さ7m、幅8cm、深さ15cmの直線水路をとりつけ、侵入した塩水の上層を淡水を流下させて、河口流を作る。潮位の変化は、バルブの開閉とポンプの作動によって給排水せしめて行なうのであるが、一定角速度でゆっくり回転する円板にとりつけたロッドによって、給排水の速度がコントロールされるようになっており、水面の昇降はほとんど正弦的である。

潮位の記録は、水面に浮かぶフロート支持板のたわみを抵抗線ひずみ計で検出、自記するものである。流速測定はフルオレッセインナトリウム溶液をトレーサーとして8mm映写機で撮影して行なった。また流線は同液を11本の注射針から連続抽出してそれを撮影して得た。塩分は電気伝導度測定によって得たが、電極は1mm×3mmの一对の白金板を対向させエポキシ樹脂で固定したものをを用いた。また水温測定には径1mm、長さ4mmのガラスサーミスターをセンサーとして使用した。

図-1の(1)から(5)までに、潮位の各時相に対応する河口流の流速分布の実験結果を示す。(1)から(5)に向かって次第に淡水の流量が増加している。測定点は(1)~(3)は河口から2.75m、(4)、(5)は1.30m、それぞれ上流の点である。二層流の流況は上流から下流に至るまでかなり長い範囲で同じような状況を示したの

* 正会員 理博 北海道大学教授 工学部

** 北海道大学助手 工学部

で、測定に好都合であった上記2点を選んだ。結果を見ると、淡水流量の少ない(1), (2), (3)は、漲潮期に表面の淡水が逆流遡上する状況が見られる。流量が大になると(4), (5)のような表層は常に流下するようになる

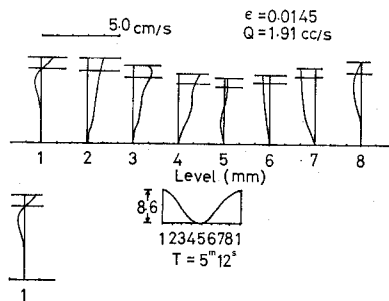


図-1 (1) 潮時と流速の関係

下の潮位変化に対応する二層流の流速分布を示す。右方が流下方向。上から二本目の水平な線は淡水両層の境界を示す。

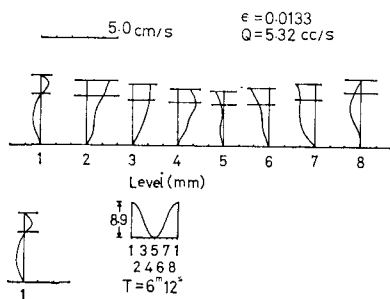


図-1 (2)

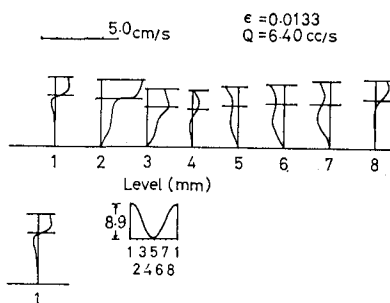


図-1 (3)

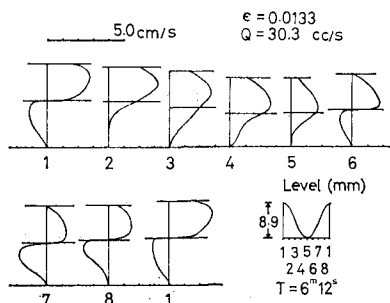


図-1 (4)

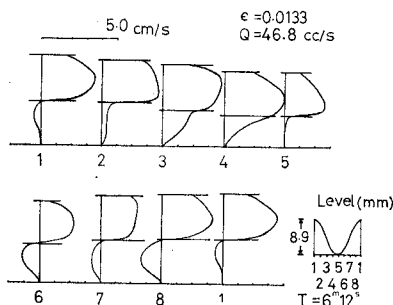


図-1 (5)

る。漲潮期はおそく、落潮期には早い。(1)~(5)のすべての場合を通じて、潮時に応じた塩水の動きは全く類似である。満潮に向かって下層塩水は遡上し、干潮に向かって上下両層とも流下する。流量の少ない場合には、干潮時にすでに塩水流入の兆しが見える。漲潮期には、遡上塩水はかなりの流速を持っている。淡水流量が少ないと漲潮期に表層が逆流する点を除いては、流況はどの場合もよく似ている。この状況を実際の現地観測結果と比較してみよう。昭和26年7月15~16日に、天塩川河口から300 m上流で行なった一昼夜連続観測結果の中から、上記実験と潮時のほぼ一致する流速分布を画いたのが図-2である¹²⁾。一見して(4), (5)の実験結果と

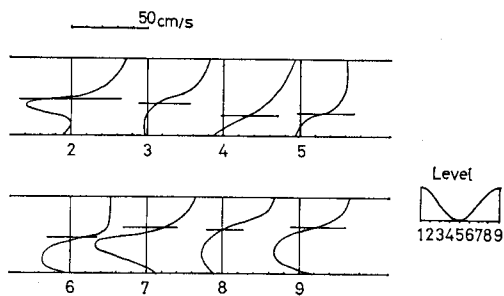
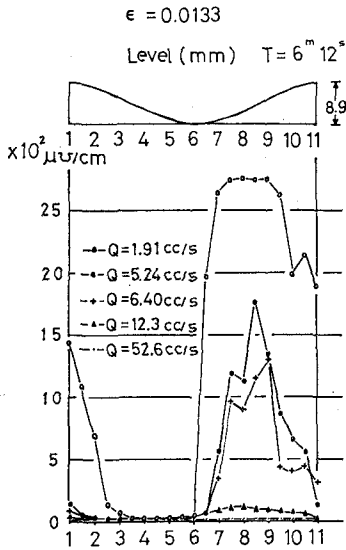


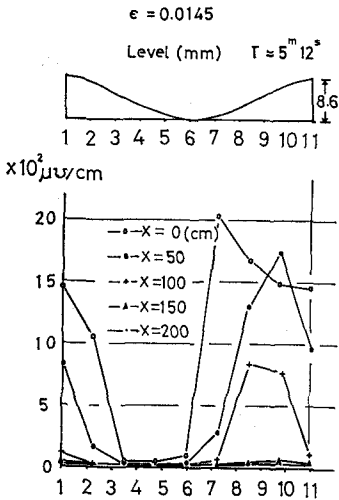
図-2 天塩川で実測した潮時と流速の関係

酷似していることがわかる。淡水の厚さの変化も実地と実験とでよく似ている。満潮時にうすく、干潮時に厚いが、完全には逆位相ではない。つまり落潮時に最も厚くなり、漲潮期に最もうすくなる。実際の河床近くの流れは地形の影響や湧水の効果とも考えられる水温、塩分の異なる不規則な流れがあるので、その付近は実験とは一致していない。さらにくわしく視察すると、両者の合致する点、合致しない点、あるいは定量的に興味ある資料なども見出だせるが、これらの記述については後日に譲り、ここでは実験の結果が現地二層流の潮汐による応答状況をよく再現していることを強調するにとどめた。

図-3と図-4は、表層塩分(電導度 $\mu\text{U}/\text{cm}$ で示す)と潮時の関係の実験結果である。河口部で流量を変



図—3 潮時と河口表層塩分の関係



図—4 潮時と河口内諸点の表層塩分の関係

えて行なったものが図—3であり、落潮時の表層は淡水が厚く占めているが、干潮を境にして様子が変わり、漲潮期には淡水流量が少ないほど塩分が激増する。流量 6.40 cc/sec 以下は、漲潮期には表層が逆流するが、他の流量の多い場合はいずれの時も流出する流れである。表層が逆流する際の高塩分は必ずしも表層淡水中に塩分が混入していくためばかりではない。落潮期に流出した淡水は、漲潮期に元の河口に入りこむわけではなく、ほとんど河口外に停滞する。したがって遡上するのは塩水であって、それが上流から来る淡水を遮断し上流へ押し戻すように働く。潮汐が何周期か、くり返されるとそのようにして淡水塊が間けつ的に海上に排出されるような形態をとる。流量が多い場合は、漲潮期の淡水厚減少と淡塩水の層間の相対速度増大による混合効果が表層塩分

上昇の主因であろうと思われる。

図—4 は淡水流量の少ない場合の河口から上流数点における表層塩分変化の状況であって、上流ほど塩分上昇が減少する。150 cm ではほとんど変化がなくなるのでこの値が、この実験における tidal excursion を示すものと考えられる。

以上、表層塩分の潮汐による変化を実証する完全な現地観測資料は未だ得られていないが、筑後川の実測にこの傾向が現われているようである¹³⁾。

そのほか、潮差による弱混合から強混合に至る各型の密度流を生ずる機構については、実験設備の都合上まだ全貌を把握するに至っていないが、最もこれらの型を生ずるための大きな要因は潮流であると思われ、しかも潮流それ自身ではなく、河道の不整、つまり川幅の変化、弯曲等によって潮流に発生する渦運動が主因であるとの印象が強い。また潮汐によって塩水淡水の間の見かけ上の摩擦が増加し、塩水くさびの実効長が減少するという興味ある現象も確認しているが、これらについても後の機会にくわしくまとめて述べたい。

3. 河口流と地形の関係

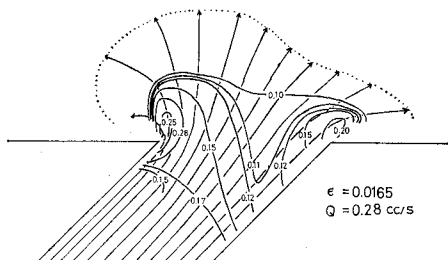
著者らの従来の実験は、海岸に直角に流出する川を模型とした密度流の実験であった。これは、実験上、理論解析上からいっても対称性の点で好ましいからではあるが、実際の河口は、まずこのように直角に流出している場合はほとんどない。斜めに流出したり、直角であってもすぐ上流で河道が大きく弯曲したりしていたりであって、従来の実験結果をそのまま現地観測と対比する上で不便の点が多かった。そこで、斜交、または弯曲の河道を持つ河口の実験を計画した。装置は両者ともとっているが、河道が弯曲した後直角に海中に流出する場合の実験は、二次流の発生や、それによるねじられた形の淡塩二層境界面の存在があり、それが淡水流量条件によって複雑な様相を呈するため、全体を統一して理解するのが困難である。

したがってここでは、斜め 45° に海に入射する河道を持つ河口の流況についての一つの実験結果を示し、同じような条件の石狩川の実測と比較してみたい。

問題を、特に河口付近の表面流の状況にしぼってみる。図—5 (1)～(5) は 45° に流出する表面流の状況で、どの点が流速が早いかを一見して把握できるように等流速の contour をひいたものである。流量の小さいものから順に示してあるが、従来の flow pattern からいえば (1), (2) は A 型, (3) は B 型, (4), (5) は D 型に属するものである。

(1) では河口両端部に流速の早い点がある。これは直交する河口の場合にすでに指摘してきたことであるが、(1) の場合には左の角、つまり鋭角的な角の部分の方が

流速が早いことを示している。これは potential 流とよく似た現象である。流心部で加速現象はあまり顕著ではない。(2) では左角の強い流れはさらに発達するが右の角の部分では不明瞭になっている。これは一連の実験結果を通じて認められる傾向で、斜交河口の特徴といえるように思われる。流心部での一時加速現象は、前の例よ



4. おわりに

潮汐と地形が河口流におよぼす影響についての実験を開始したので、そのうち、ごく一部のかかなり明らかな現象について現地実測と対比して紹介したものである。河口流の複雑な様相を遂一把握することによって最終的に全貌を解析する手がかりとしたい。

参 考 文 献

- 1) 柏村・吉田：密度流の研究（第1報），北大工学部研究報告，第41号，昭41.8月
- 2) 柏村・吉田：河口を出る淡水の流れ，第13回海岸工学講演会講演集，昭41.12月
- 3) 柏村・吉田：密度流の研究（第2報），北大工学部研究報告，第43号，昭42.5月
- 4) 柏村・吉田：河口密度流の解析，第14回海岸工学講演会講演集，昭42.10月
- 5) 柏村・吉田：Outflow pattern of fresh water issued from a river mouth, Coast. Eng. in Japan, Vol. 10, 1967.
- 6) 柏村・吉田：河口の flow pattern について，第12回水理講演会講演集，昭43.2月
- 7) 柏村・吉田：河口の流れの構造（1），第15回海岸工学講演会講演集，昭43.12月
- 8) 柏村：密度流の研究（第3報），北大工学部研究報告，第53号，昭44.3月
- 9) 柏村・吉田：Flow pattern of density current at a river mouth, 13th Congr. IAHR, Proc., Vol. 3, (Subject C), 昭44.11月
- 10) 柏村・吉田：河口の流れの構造（2），第16回海岸工学講演会講演集，昭44.11月
- 11) 柏村・吉田：河口流の実態，第17回海岸工学講演会論文集，昭45.12月
- 12) 柏村：天塩川河口の二重水層，天塩港調査報告，昭34.6月
- 13) 満田：筑後川河口の淡水混合と浮泥の濃度分布について，第16回海岸工学講演会講演集，昭44.12月