

北海道大学工学部

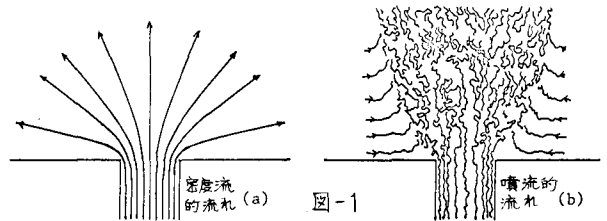
正員

柏村 正和

1. まえがき.

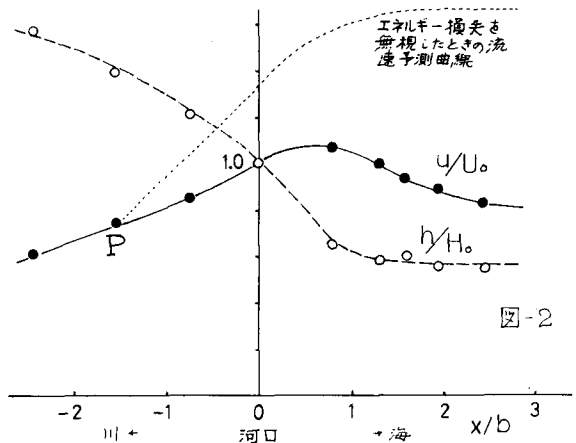
川の淡水が河口を出て海上にひろがる場合、その流量や、海水と淡水の密度差、河口川幅、などのちがいによって種々の flow-pattern を示すことはよく知られている。⁽¹⁾⁽²⁾ 流量が少なく淡水の河口を通過する速度が小さい場合とか、浅塩密度差、河口幅が大きい場合には、淡水流は河口を出て扇のように放射状にひろがっていくが、逆に流量が大きくなり、同時に他の条件も先の場合と逆になっていくと、次第に平面噴流の形式に移行していくことが知られている。前者は淡水が海水の上へ浮力により乗りあげるることによって発生するもので、密度流的性質を強く示しているものであるが、後者は乱れによって混合が促進され、一種類の流体の乱流ジェットに近い性質を持つものである。これらの流況の実験例は図-1(a)(b) のとおりである。

(a) は一様な性質をもった理想流体が示す2次元のポテンシャル流の流線と形がよく似ている。⁴⁾ 実際に等角写像によって求められた流線と比較すると酷似している。⁴⁾ し



かし全く異なる点が一つ存在する。それは、一様流体のポテンシャル流では流心に沿って河口から沖へ向かう場合には、流速は次第に減少してのみであるが、二層流の場合では、表層淡水は速度が逆に

次第に大きくなり、河口を出たところでピークに達し、その後急速に減衰していく形態をとる。図-2は石狩川河口附近の流心に沿った速度(実線)分布を示すもので、河口での流速($U_0 = 90 \text{ cm/s}$)を基準にしてある。距離も河口幅300 mを基準に(b に相当)、無次元化してある。数年にわたる観測の全部が常に同じ傾向を持っている。これは実測ばかりでなく、室内実験においても現われる。図-3はそのうちの3例を示すもので、表層に注入した色素の動きを8mmカメラにてとり、



コマ毎しらべて作った等流速 contour を示す。⁵⁾⁽⁶⁾

このように二層流では流心に加速点を生ずるのが特徴的であり、これについての考

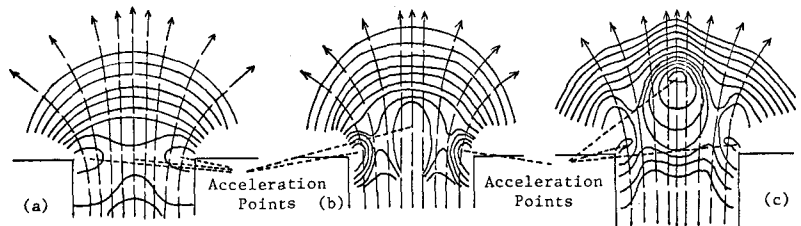


図-3 実験から得られている速度分布

察を行なってみよう。

2. 二層流の河口表面で加速現象を生ずる現象の考察

定常で二層間の抵抗を無視した場合を考える。これは河口を通過するときの現象は過渡的なものであつて距離に対する流況の変化が大きいからその傾向は抵抗を無視しても大体察することのできるだろうとの予想による。方程式は(1)のようになり、(2)式は連続方程式である。⁷⁾ ここで U, V は淡水流速

$$\left. \begin{aligned} U \frac{\partial U}{\partial x} + V \frac{\partial U}{\partial y} + \varepsilon g \frac{\partial h}{\partial x} &= 0 \\ U \frac{\partial V}{\partial x} + V \frac{\partial V}{\partial y} + \varepsilon g \frac{\partial h}{\partial y} &= 0 \end{aligned} \right\} \dots (1)$$

$$\frac{\partial}{\partial x}(hU) + \frac{\partial}{\partial y}(hV) = 0 \dots (2)$$

$$hU = \frac{\partial \psi}{\partial y}, \quad hV = -\frac{\partial \psi}{\partial x} \dots (3)$$

$$\left. \begin{aligned} U \frac{\partial U}{\partial x} + V \frac{\partial U}{\partial x} + \varepsilon g \frac{\partial h}{\partial x} - V \left(\frac{\partial V}{\partial x} - \frac{\partial U}{\partial y} \right) &= 0 \\ U \frac{\partial U}{\partial y} + V \frac{\partial V}{\partial y} + \varepsilon g \frac{\partial h}{\partial y} + U \left(\frac{\partial V}{\partial x} - \frac{\partial U}{\partial y} \right) &= 0 \end{aligned} \right\} \dots (4)$$

$$\frac{U^2 + V^2}{2} + \varepsilon gh + \left\{ \frac{1}{h} \left\{ \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{1}{h} \frac{\partial \psi}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{1}{h} \frac{\partial \psi}{\partial y} \right) \right\} \right\} d\psi = C \dots (5)$$

$$\frac{1}{h} \left\{ \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{1}{h} \frac{\partial \psi}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{1}{h} \frac{\partial \psi}{\partial y} \right) \right\} + \frac{dH}{d\psi} = 0 \dots (6)$$

$$\begin{aligned} H &= \frac{U^2 + V^2}{2} + \varepsilon gh \\ &= \text{const} \quad (\text{流線上で}) \end{aligned} \dots (7)$$

流速も川幅の方向に一様ならば $dH/d\psi = 0$ となるから、これから下流でも(6)式から(8)式が成

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{1}{h} \frac{\partial \psi}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{1}{h} \frac{\partial \psi}{\partial y} \right) = 0 \dots (8)$$

ればよい。したがつても、流線の状況も調へる場合は(8)式、または(6)式を境界条件にしたがつて解けばよいことになる。

ここでは(7)式を用いて加速現象を考えよう。一本の流線上で H が一定であるから、河口における

$$\frac{U^2}{2} + \varepsilon gh = \frac{U_0^2}{2} + \varepsilon gH_0 = \text{一定} \dots (9)$$

$$U_0^2 / \varepsilon g H_0 = 1 \dots (10)$$

$$\left(\frac{U}{U_0} \right)^2 + 2 \frac{h}{H_0} = 3 \dots (11)$$

淡水流速と厚みを U, H とすると流心に沿つて(9)式が成り立つ。河口では内部フルード数が1になる性質があるので(10)式の条件を考慮に入れて(9)式を変形すると(11)式を得る。これによって、淡水厚と淡水流速の関係が求められる。河口を出ると淡水は塩水にのり上げて四方へひろがるのでその厚みも失なわなくてはならぬ。従つて(11)式により流速は早くなる。もし式が仮定通りに淡水と塩水間に抵抗がなく、淡水のエネルギー損失が0ならば U/U_0 は $\sqrt{3}$ にまで突極的には達するはずである。しかし現実にはエネルギーがたえず失なわれる。混合現象がその証拠である。従つて流れは加速はされるがエネルギー損失によりやがてピークに達し、以後減速の過程をたどることになる。図-2の実線は石狩川の実測であるが、もしエネルギー損失がなく、正味のエネルギーが保存されれば速度は実線の如くなるであろう。実線と実線の差は混合などにもとづくエネルギーの損失に対するものである。文献1) 柏村吉田(13海工、2) Coast Eng. J. 10、3) 19水理、4) 北大工研53、5) 17海工、6) 19北工研、7) 北大工研28、(以上)