

河口密度流(弱混合)について

九大工学部 正員 橋 東一郎

・ 〇 浜 村 実

・ 大学院 学生 眞古 本 勝弘

1 熱瀬河川河口部において河水と海水の密度差のために海水塩分が河口から上流に向って遡上する現象を河口密度流とよび、工業用水や農業用水の取水に各種の被害を与える事が多い。

海水塩分の遡上する際の流況は、海水塩分と河水との混合の程度により著るしく異なり、Stommel によれば次の3種に分類される。すなわち

- (1) 弱混合 海水塩分と河水との混合が比較的小さく、安定な境界面を持った海水が塩水楔を形成して上流に遡上する場合。
- (2) 強混合 海水塩分と河水との混合の程度がはなはたしく、塩分濃度が垂直方向にほぼ等しく、河川延長方向に変化する場合。
- (3) 緩混合 両者の遷移領域。

これらのうち、弱混合の場合には二相流体としての取扱ひにより近似的に塩水楔の形状及びその侵入長を決定する事が可能であるが、海水と河水の境界面に働くせん断応力に対する抵抗係数が重要な factor となる。

抵抗係数は河川における実測値も種々報告されており、上列の Reynolds 数及び上下両層の流れを規定する内部フルード数の函数として各種の実験式が提案されているが、上下両層の水深及び境界面の安定性等の影響を受ける事が予想され今に充分に解明されていない。

本文は境界面における混合を無視してよい場合について定常的な塩水楔の性質、主として境界面の抵抗係数について実験的に考察したものである。

2. 実験装置及び方法

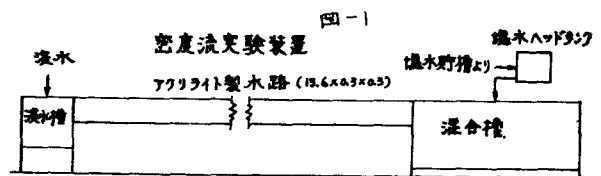
実験装置は図-1に示すように三面アクリライト製の矩形断面水路(長さ13.6m、幅0.3m、高さ0.3m、底勾配0)で上下流端に鋼製の淡水槽と混合水槽を備えたものである。淡水槽

は最大給水能力50%の給水管を有している。混合槽は長さ3.0m、幅2.5m、高さ0.8mの大きさで最下流端は水位を一定に保つたのに全幅にわたって overflow を可能にしている。

多少の混合により消費される塩水は列系統のヘッドタンクより供給する。

おもな測定量は塩水楔の形状、塩分濃度分布、流速分布等である。塩水供給量を適当に加減する事により任意の長さの楔を定常に保つ事が出来る。

塩水楔の形状は塩水をフルオレセインで着色し水路側壁に50cm 間隔にはりつけたスケールにより目測した。



塩分濃度の分布は塩分濃度を電気伝導度に対応させる事が出来る事を利用して濃度計を試作して測定した。

流速分布の測定は water-blue の小粒子を流れに投入し縦方向に色素の軌跡を作りそれを時計と共に写真に撮るか或いはクロールベンゼン（比重 1.46）とキシレン（比重 0.87）を淡水及び塩水と同じ比重になるように混合し着色した混合液を上流から噴射させ流れの中に微小球を作りその球の速度を測定した。

3. 実験結果

実験により得られた塩水楔の代表的な形状を図-2に示す。

塩水楔の表面には小さな内部波が発生しその波長、波高は楔先端からの距離の増加と共に増大し混合槽内に於て最大のものが認められた。

又表層流の流速が増大すればやがて内部波は碎波をはじめ上下両層間において混合がはじまる。

塩水楔における代表的な流速分布および密度分布の測定結果を図-3に示す。

境界面附近の下層は粘性の影響により上層に引かれて下流側に流れているが有限な長さを持つ定常状態の塩水楔では下層の平均流速は 0 でなければならない。かなり顕著な逆流が認められる。

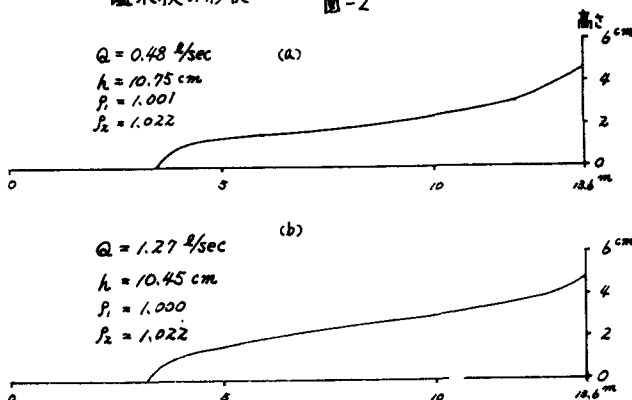
密度分布は内部波の発生により多少の上層及び下層の混合が認められるが、境界面附近の密度勾配はかなり急であり層流としての取扱いが可能である事を示している。

図-4は塩水楔にそっての流速分布の変化を示したものである。

同図より上層流の粘性の影響を受ける領域が下流側に増大している様子がわかる。

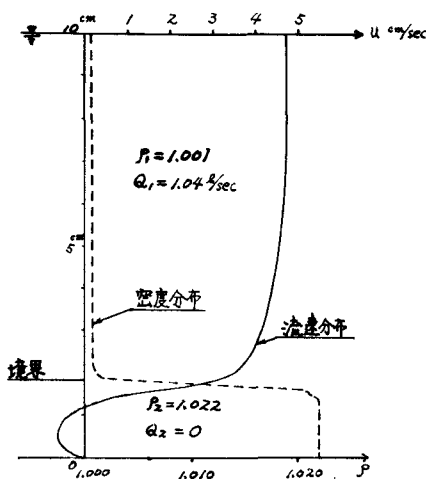
塩水楔の形状

図-2



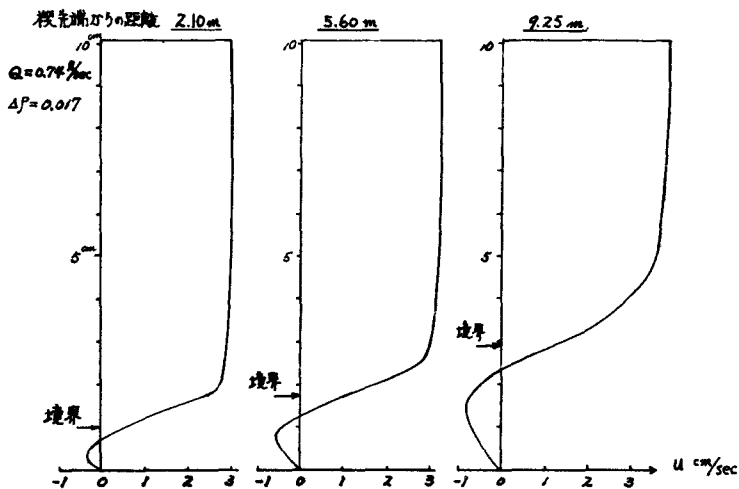
流速分布及び密度分布の一例

図-3



流速分布の变化

図-4



4. 境界面の抵抗係数

底勾配 $i=0$, 上層の平均流速を u_1 , 下層の平均流速 $u_2=0$ の場合, 境界面に働くせん断応力を $\tau_i = \frac{f'_i}{2} \rho u_1^2$ で定義すれば, 境界面における抵抗係数 f'_i は両側壁及び底面の影響を無視すれば

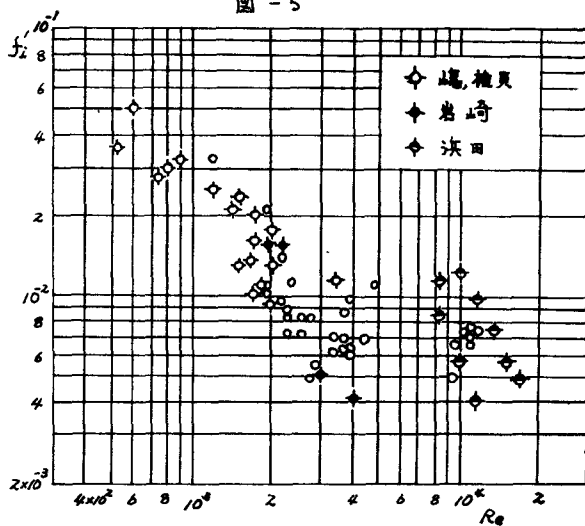
$$f'_i = \frac{-2\left(\frac{1}{f_1} - 1\right) \frac{dh_1}{dx}}{1 + \frac{h_1}{h_2}}$$

で与えられる。

ここに	上層	下層
密度	ρ_1	ρ_2
水深	h_1	h_2
流量	q_1	0

であり f_1 は $\frac{8\tau}{\rho g h_1^3}$ で定義される内部フルード数である。但し $\varepsilon = \frac{\rho_2 - \rho_1}{\rho_2} = \frac{\Delta \rho}{\rho_2}$,

図-5



$f'_i \sim Re$ の関係

上式より境界面の抵抗係数は、上層の内部フルード数、上層及び下層の水深、境界面の勾配の函数として示される。

図-5は実験より求めた f'_2 の値を上層の Reynolds 数で整理したものである。同時に嶋、椎貝、岩崎、浜田等の実験結果も示している。

内部波が発生するため境界面の測定に多少の誤差を伴ない、点のうちばりは著しいが、抵抗係数 f'_2 は Reynolds 数がほぼ 4000 以下では Reynolds 数の増加と共に減少し Reynolds 数が 4000 以上になると f'_2 は Reynolds 数に無関係でほぼ一定の値に近づく傾向がみられる。

境界面附近は密度勾配により乱れが抑制され比較的層流状態がよく保たれるが Reynolds 数が 4000 附近で内部波の発生が顕著になり、流況にかなりの変化を生ずるためと思われる。

なお椎貝は f'_2 と Reynolds 数との関係として $f'_2 = 28/Re$ なる実験式を示しているが、この値は層流境界層の考え方に基ずいて導いた値に比較してかなり大きな値であり今後さらに検討を要するものと思われる。

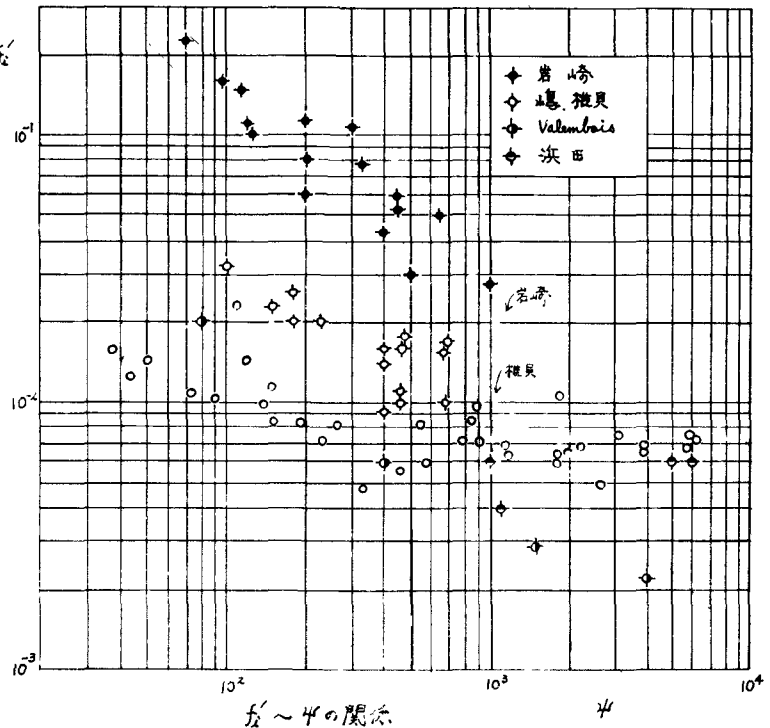
又 Kaulsteg 及び椎貝により f'_2 は $1/Re \cdot Fr^2$ の函数として表現する事が可能である事が示された。

岩崎によれば $Re \cdot Fr^2$ を ψ と書くので f'_2 と ψ との関係を図示すると図-6が得られる。

岩崎は $f'_2 = 7.88 \psi^{-0.863}$ 、椎貝は $f'_2 = 12/\psi$ なる実験式を提案しているが、我々の実験によって得られた値はこれらの値とは傾向が異なり相対的に小さな値となった。この原因は明確にははかり難いか実験水路の特性による事が考えられる。

すなわちこれらの値は水路側壁及び底面での摩擦抵抗を無視したものであるが、これらを考慮した場合、水路幅、塩水楔の長さ等が f'_2 の値にかなりの影響を与える事が考えられる。水路の幅が狭く、塩水楔が短い場合には f'_2 は側壁及び底面の影響を受ける割合が大ききその値も大きくなる。この点に関しては今後検討の必要があるように思われる。

図-6



$f'_2 \sim \psi$ の関係