

三角形水路の密度流に生ずる二次流の実験的研究

長崎大学工学部 学生員 ○濱 丈治  
 学生員 村中 隆司  
 正会員 古本 勝弘

(1) はじめに

河川感潮部では、海域からの海水の侵入で、流れ方向に密度勾配を持つ流れが形成される。この流れは複雑であるため、未解明な点が数多くある。二次元的な流れでは、密度流効果の増加と共に鉛直方向の速度勾配は増加し、縦方向重力循環流の成分が増す。しかし、横断方向に水深が変化する流れでは、断面内の流速は鉛直方向のみならず横断方向にも分布する。そのために、横断方向にも密度勾配が生じる。この横断方向密度勾配は断面内二次流を引き起こし、物質の輸送に大いに影響を与える。本報は、横断方向の密度流効果を明らかにするため、三角形断面水路を用いて断面内二次流の分布状況を実験的に調べたものである。また、理論解析<sup>1)</sup>との若干の比較を行った。

(2) 実験方法

横断方向に速度が分布し、流れ方向に密度勾配をもつ流れをつくるため三角形断面のベルト走行式水路を用いた。実験装置を図-1に示す。水路床には棧粗度を付けたベルトを走らせ、その上流端、下流端底面付近にそれぞれ淡水(Qf)、塩水(Qs:密度ρs)を供給して流れ方向に密度勾配をもつ成層乱流場をつくった。塩、淡水注入量およびベルトスピードVbを変えることにより密度流効果の異なる実験を行うことができる。流速測定には2次元レーザードップラー流速計を用い、一測点につき1000個のデータをパソコンに取り込み、u(流下方向速度)、w(鉛直方向速度)、乱れ強度、レイノルズ応力(-u'w')を計算させた。流速は中央点Bでシーディング剤としてポスターカラー(銀)を流して計測したが塩水を注入した流れは、光の屈折率が密度の乱れにより微妙に変化するため、水中の光路長が長くなる壁面から遠い部分は流速の計測はできなかった。塩分はA、B、C点で採水し、電導度計で計った。図-2は流速測定断面を示す。

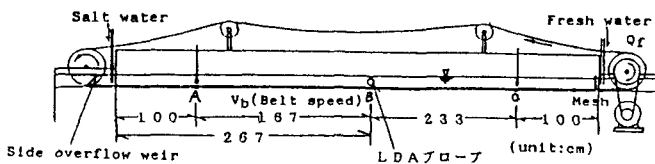


図-1

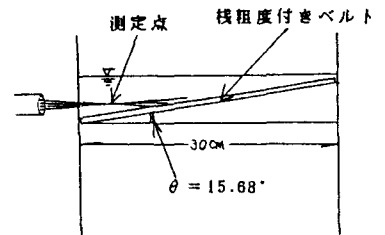


図-2

(3) 実験結果と考察

表-1に実験要目を示す。ここでは紙面の都合上、淡水だけを流したNo. 1、塩水を注入したもののうち密度流効果パラメータσ(=1/2\*gH<sup>2</sup>/ρ<sub>0</sub>\*Δρ/Δx/U<sub>τ</sub><sup>2</sup>)=0.112であるNo. 2について考察する。

表-1

	σ x10 <sup>-1</sup>	Vb cm/s	U <sub>max</sub> cm/s	Qf cm <sup>3</sup> /s	H cm	I x10 <sup>-3</sup>	√gHI cm/s	dρ/dx x10 <sup>-5</sup> g/cm <sup>4</sup>	ρ <sub>s</sub> (注入) g/cm <sup>3</sup>	Q <sub>s</sub> cm <sup>3</sup> /s
No. 1 (淡)		29.59	42.20	83.19	8.98	1.31	3.39			
No. 2 (塩)	1.12	12.14	22.75	200.0	7.73	0.39	1.72	1.128	1.04	35.0

### ① 二次流分布

二次流のベクトル分布を図-3に示す。これは、計測された鉛直方向流速 $w$ から、連続の式の積分 ( $v = -\int (\partial w / \partial z) dy$ ) により $v$  (横方向流速) を計算し描いた。ただし、 $w$ の計測値にはシーディング剤の沈降速度も含まれるので、斜面に平行な測線を $Z$ 方向に横切るnetの流量が0の条件で各測点の $w$ の補正を行い、これを $Z$ 方向に3次以上の多項式で最小自乗近似して $\partial w / \partial z$ を求め $v$ の計算に用いた。淡水のみの流れ (No. 1) には図において反時計回りに二次流が存在しており、これは、レイノルズ応力の空間分布の歪から生ずるといわれるプラントルの第二種二次流であろう。塩水を注入すると (No. 2)、密度は水深の浅い部分で大、深い部分で小の分布となり、この横断方向の密度勾配により時計回りの二次流が形成されている。

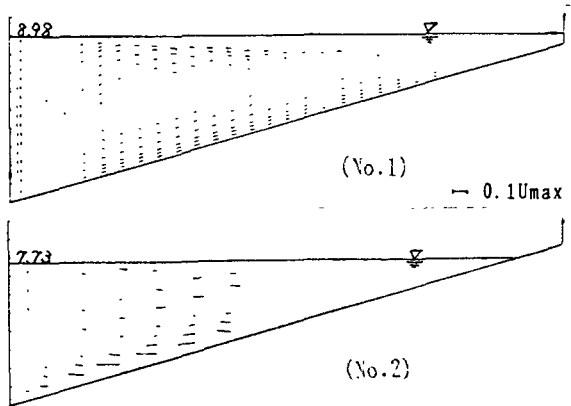


図-3 二次流ベクトル図

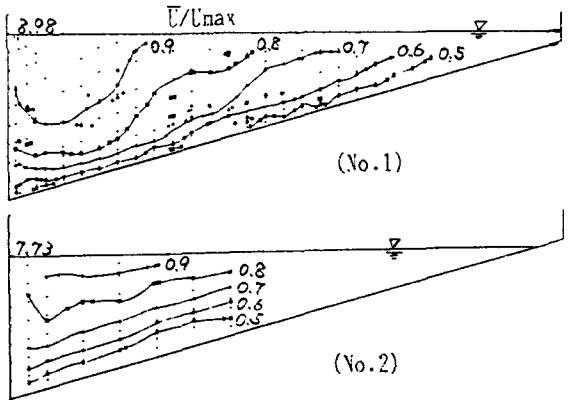


図-4 等速線図

### ② 等速線図

最大流速で無次元化した $u$ の等速線図を図-4に示す。No. 1の等速線は、深い部分の底部に密に入り、浅い部分に向かって斜面からはなれる傾向にあるが、No. 2では、斜面に沿ってほぼ平行に近く入る。これは、二次流による運動量の輸送を考えると説明がつく。

### ③ 密度の横断分布

$\bar{\theta}$  (鉛直線平均密度)  $= (\rho - \rho_0) / (\partial \rho / \partial x) * H$  の横断分布を図-5に示す。実線は理論式<sup>1)</sup>によるものである。流れ方向に密度が増加する ( $\partial \rho / \partial x > 0$ ) とき $u$ の分布により密度は浅い部分で高く、深い部分で低くなるのがわかる。

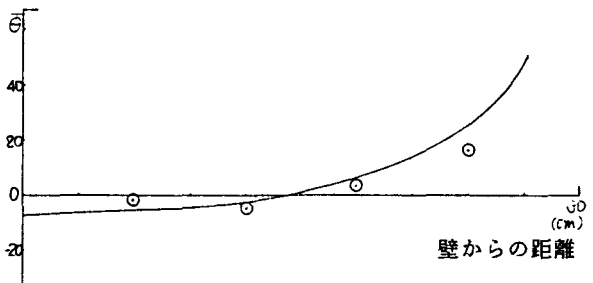


図-5 横断方向の密度分布

### (4) おわりに

本研究の結果は次のようなものである。

1. 淡水だけの場合には、断面内に水表面を流心に向かう二次流が発生する。
2. 流れ方向に密度が増加する場合、密度流効果による断面内二次流は、上記の流れと反対方向に発生する。
3. 密度流効果を表すパラメータ ( $\sigma$ ) が、断面内二次流の大きさを支配している。
4. 密度流効果による断面内二次流は、横断方向に流速あるいは密度を平均化させる効果がある。
5. 等速線図は、断面内二次流により水路床に平行な分布になっていく。
6. 実験値と理論値は、定性的には一致する。

参考文献：1) 村中隆司ら：三角形水路の密度流に生ずる二次流の解析、平成3年度西部支部概要集