

## II-279

## 負の浮力を持って斜面上に表層放出される三次元密度噴流の流動機構

東京電機大学大学院 学生員 梅基 淳

東京電機大学理工学部 正会員 有田正光

東京電機大学理工学部 正会員 中井正則

## 1. はじめに

負の浮力を持って斜面上に表層放出される密度噴流は、洪水時における河川濁水の貯水池への流入やLNGプラントから海域への冷排水の放流などにおいて見られるものであり、環境科学上の重要な現象である。しかしながら、この現象を三次元的に取り扱った研究は非常に少ない<sup>1)~3)</sup>。

本研究は、この現象を三次元問題として実験的に考察し、流れの物理機構を解明しようとするものである。

## 2. 現象の概要

図-1に本研究で取り扱う流れの模式図、および記号、座標系の定義を示す。同図に示すように、負の浮力を持った三次元密度噴流が放出密度フルード数 $Fo$ で斜面勾配 $S$ の斜面上に水平に放出され、放出口から距離 $L_p$ だけ流下した後水面下へ潜り込み、斜面上を傾斜密度流として流下する。ここに、 $Fo$ は $Fo=Uo/\{(\Delta\rho o/\rho a)gHo\}^{1/2}$ 、 $Uo$ は放出流速、 $\Delta\rho o(=\rho o-\rho a)$ は放出口における密度差、 $\rho o$ は放出水の密度、 $\rho a$ は周囲水の密度、 $Ho$ は放出口水深、 $g$ は重力の加速度である。なお、ここでの考察の対象は密度噴流の潜り点より上流側( $x < L_p$ )に限定している。

## 3. 実験

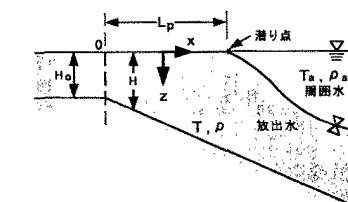
実験装置には、約 $6.0\text{m} \times 2.5\text{m} \times 0.6\text{m}$ の平面水槽を用いた。斜面勾配 $S$ は $S=1/5, 1/10, 1/40$ の3通り、放出密度フルード数 $Fo$ は $Fo=2 \sim 13$ 程度とした。また、放出口水深 $Ho$ は全ケースを通じて $Ho=4.0\text{cm}$ とした。実験においては、水槽内の水道水中へ冷水を放出することにより負の浮力を持つ密度噴流を再現し、流況の可視化および網羅的な水温測定を行った。

## 4. 実験結果と考察

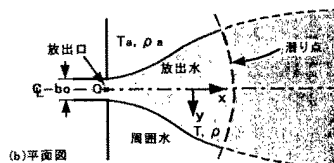
前報<sup>3)</sup>より、密度噴流は放出直後には噴流的特性が強いものの、流下とともに噴流的特性は弱くなり、代わって密度流的特性が強くなることが明らかになっている。ここでは、この知見を踏まえて今回の実験結果について考察する。

## (1)横断面内の流況

写真-1は $Fo=6.5, S=1/5$ のケースに対して、 $x/Ho=1.25, 5.0, 10.0$ における密度噴流の横断面内流況の可視化写真を示したものである。写真-1(a)は放出口に近い $x/Ho=1.25$ のものである。同写真より、密度噴流の横断面形状は底層がやや広がっているものの、ほぼ矩形であることがわかる。これは放出口近傍で噴流の特性が卓越していることを示している。また、写真-1(b)は放出口より若干離れた $x/Ho=5.0$ のものである

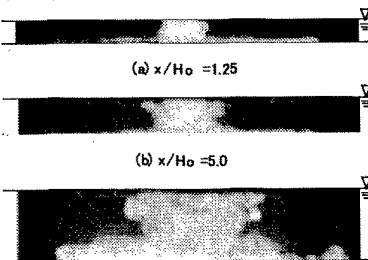


(a)側面図



(b)平面図

図-1 流れの概要および記号、座標系の定義

(c)  $x/Ho=10.0$ 写真-1 密度噴流の横断面内流況  
( $Fo=6.5, S=1/5$ )

Key words : Three-dimensional negatively buoyant jets, Jet-like spreading, Buoyant spreading, Constriction in a middle layer

〒350-0394 埼玉県比企郡鳩山町石坂 TEL 0492-96-2911 FAX 0492-96-6501

が、密度噴流は表層および底層を拡がる傾向にあり、中間層にくびれが見られる。さらに、写真-1(c)は $x/H_0=10.0$ のものであり、潜り点( $x/H_0=14.0$ )より若干上流の結果である。同写真より、密度噴流の表層および底層の拡がりが大きくなっていること、中間層のくびれが顕著になっていることがわかる。以上の横断面内流況を模式的に示したものが図-2である。

写真-1(c)における底層の大きな拡がりとは前報<sup>3)</sup>で示したように密度流効果によるものである。一方、表層の大きな拡がりとは今回の実験で初めて観察されたものであるが、これもまた、密度流的特性の現れと考えられる。つまり、表層および底層の大きな拡がり、および中間層のくびれという3つの特徴をひとまとめにして密度流的特性と呼ぶべきものと推察される。なお、実験時の観察より、写真-1(c)において(流軸の左右それぞれに)表層付近および底層付近に互いに逆向きの循環を持つ一対の縦渦が存在すること、この渦対に挟まれる領域(中間層)に周期的な水平連行が生じることが判明した(図-2(c)参照)。

## (2)偏差温度 $\Delta T$ の横断面内分布

写真-1の流況を定量的に把握するために、横断面内の水温分布(時間平均値)を測定した。図-3は $Fo=4.2$ ,  $S=1/10$ のケースに対して、横断面内の無次元偏差温度 $\Delta T/\Delta T_0$ のコンターラインを示したものである。ここに、 $\Delta T$ は偏差温度(=周囲水の水温 $T_a$ -密度噴流の水温 $T$ )、 $\Delta T_0$ は放出口における偏差温度 $\Delta T$ である。同図より、 $x/H_0=1.5$ では密度噴流の拡がり水深方向にほぼ一様であり、写真-1(a)、図-2(a)とよく対応していることがわかる。また、 $x/H_0=2.5$ では表層および底層に若干の拡がりが見られ、中間層にくびれが生じている。この状況は写真-1(b)、図-2(b)に対応している。さらに、 $x/H_0=3.75$ , 5では表層および底層の拡がり激しく、また、くびれ現象も顕著になっており、その特徴は写真-1(c)、図-2(c)と良く一致している。また、この両断面のもう一つの特徴として中間層(それぞれ $z/H_0=0.38$ ,  $0.75$ 付近)に $\Delta T/\Delta T_0$ の小さい領域が存在することが挙げられる。

## 5.まとめ

本研究より得られた結論を以下にまとめる。密度噴流は放出口より一定の距離を流下すると噴流的特性が弱くなり、遷移状態へ移行する。遷移状態では、密度噴流は表層および底層が拡がり、中間層にくびれを持つ特有の横断面形状を示す。この特徴は流下とともに顕著になり、やがて、流動特性は密度流的特性へ移行する。なお、表層および底層の激しい拡がり、および中間層の強いくびれ(密度流的特性)は正の浮力を持つ密度噴流において観察されるものではなく、この現象に特有のものである。

## 参考文献

- 1) Hauenstein, W. and Dracos, T. : *J. Hydr. Res.*, Vol.22, No.3, pp.157-179, 1984.
- 2) Tsihrintzis, V.A. and Alavian, V. : *J. Hydr. Res.*, Vol.34, No.5, pp.695-710, 1996.
- 3) 有田正光, 中井正則, 渡辺 徹, 梅基 淳 : 水工学論文集, 第42巻, pp.535-540, 1998.

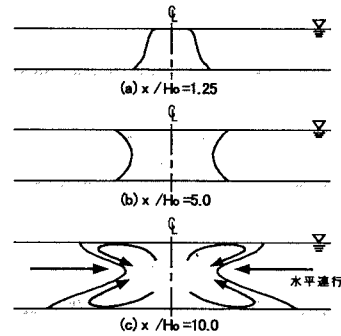


図-2 横断面内流況の模式図  
( $Fo=6.5, S=1/5$ )

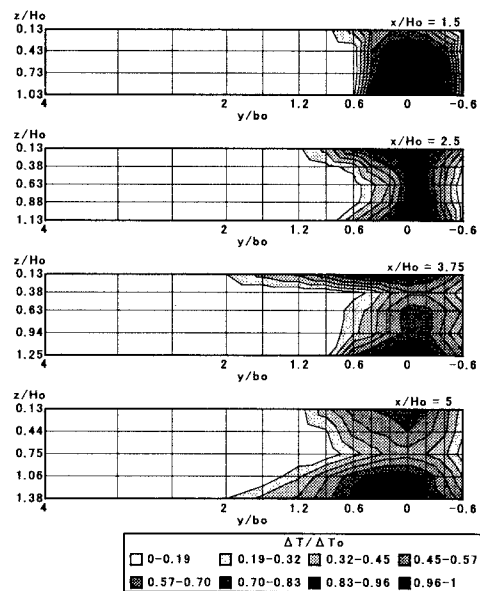


図-3 横断面内の  $\Delta T/\Delta T_0$  のコンターライン  
( $Fo=4.2, S=1/10$ )