

# 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・拡がり

東京電機大学大学院 学生員 田原 定憲  
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  
東京電機大学大学院 学生員 瀬川 政行

## 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現象であり、環境科学上の重要な研究課題である。本研究ではこの現象について、三次元の場合の流動・拡がり特性(潜り点より上流側)を実験的に検討した。

## 2. 現象の概要

図1に本研究で取り扱う現象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 $L_p$ だけ流下した後に水面下に潜り込み、斜面上を傾斜密度流として流下する。ここに、 $Fo$ は $Fo=U_o/\{(\Delta\rho_o/\rho_a)gH_o\}^{1/2}$ 、 $U_o$ は放出流速、 $\Delta\rho_o(=\rho_o-\rho_a)$ は放出口における密度差、 $\rho_o$ は放出水の初期密度、 $\rho_a$ は周囲水の密度、 $H_o$ は放出口水深、 $g$ は重力の加速度である。

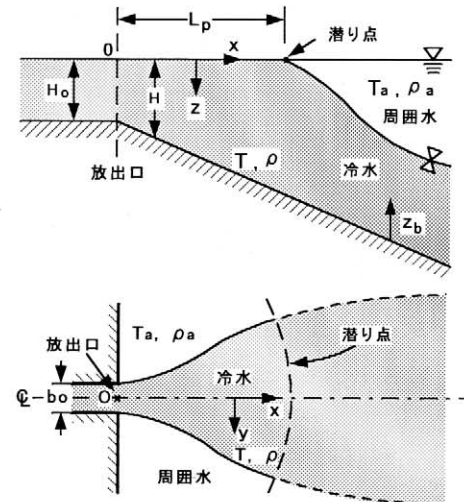


図1 現象の概要

写真1, 図2に密度噴流の横断面形状の可視化結果( $Fo=6.3$ ,  $S=1/5$ )とその模式図(潜り点より上流側)を示す。同写真よりわかるように、密度噴流は流下に従って、横断面形状が「(a)矩形→(b)中間層の弱いくびれ→(c)底層の大きな拡がり→(d)底層と表層の大きな拡がり」のように移行し、その後に底層に潜り込んでいく(なお、著者らによる詳細な水温測定<sup>1)</sup>によっても同様の結果が得られている)。最後の(d)における「表層の大きな拡がり」は重力に逆らう現象に見え、興味深い。

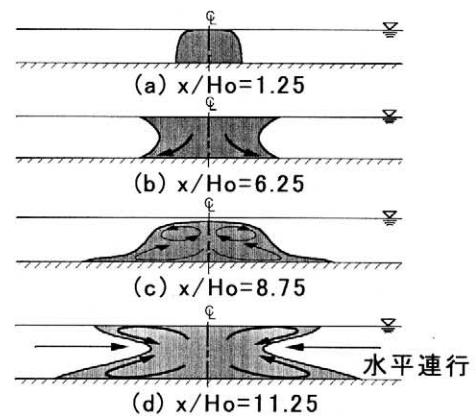
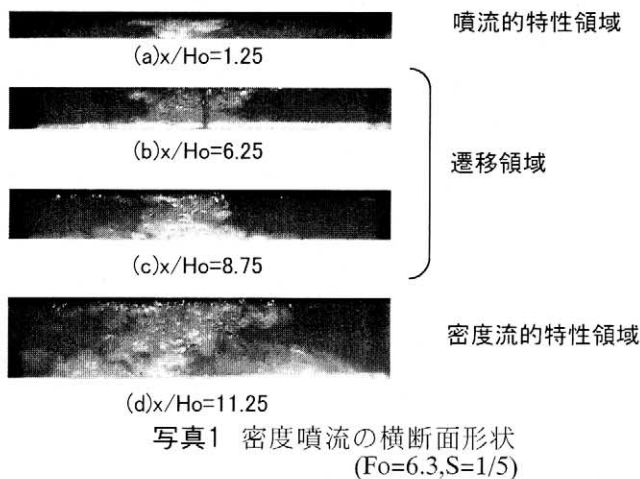


図2 横断面形状の模式図

## 3. 実験装置と実験方法

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。同水槽に密度噴流を放出するための幅 $b_o=5\text{cm}$ の水路、および斜面を模擬するためのアクリル板を取り付けた。実験では、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水温の測定を行った。なお、実験での斜面勾配 $S$ は $S=1/5$ 、放出密度フルード数 $Fo$ は $Fo=3 \sim 6$ 程度とした。

#### 4. 実験結果と考察

ここでは、写真1(d)の「表層の大きな拡がり」の発生メカニズムについて考察する。

写真2は流軸を含む縦断面内の流況( $Fo=2.9, S=1/5$ )を表層より放出した染料によって可視化したものである。同写真より、表層水が一旦潜り込み(矢印①)、その後に表層へ再付着する(矢印②)ことがわかる。なお、目視観察およびビデオカメラによる映像より、潜り込み始める点(矢印①)、再浮上する点(矢印②)が時間的にあまり変動しないことが確認されている。

図3は表層( $z=0.5\text{cm}$ )における流軸上水温差 $\Delta T$ の乱れ強度 $\alpha = \{(\overline{\Delta T'^2})^{1/2} / \overline{\Delta T}\}$ の流下方向変化( $Fo=6.5, S=1/5$ )を示したものである。ここに、 $\overline{\Delta T}$ は時間平均水温差、 $\Delta T'$ は $\overline{\Delta T}$ からの変動量、 $\overline{\quad}$ は時間平均を表している。 $x/Ho \geq 7.5$ の領域について見ると、 $x/Ho=7.5 \sim 10$ では $\alpha$ が小さく、 $x/Ho=11.25 \sim 12.5$ では大きい。これは、 $x/Ho=7.5 \sim 10$ が写真2の密度噴流が一旦潜り込む領域に、 $x/Ho=11.25 \sim 12.5$ が再浮上域に対応しているためと考えられる。

図4は $x/Ho=8.75, 10.0, 11.25$ (流軸上)における $z=3.0\text{cm}$ と $z=0.5\text{cm}$ の水温に対する相互相関係数 $R_c$ を示したものである。なお、同図の実験条件( $Fo=6.3, S=1/5$ )は図3のそれとほぼ同一である。同図より、 $x/Ho=8.75, 10.0$ では遅れ時間 $\tau=0.8\text{s}$ 程度、さらに下流の $x/Ho=11.25$ では $\tau=0\text{s}$ で相関が高くなっていることがわかる(矢印参照)。このことから、 $x/Ho=8.75, 10.0$ では流軸上で上昇流が生じていること、 $x/Ho=11.25$ ではこの2点が同一の流動層内に位置していることがわかる。

写真1, 2, 図2~4の結果、ならびに他の結果を総合して、密度噴流の流動メカニズムを模式的にまとめると、図5のようになる。同図の意味するところは、以下のである。密度噴流は放出直後に表層流と底層流に分岐し、それぞれ縦渦を伴いながら流下する。やがて、密度流的特性が強まり、表層流は拡がりを縮小しながら下方へ潜り込み始める(A-A'断面)。それに伴って、表層の縦渦は縮小されて渦度が大きくなり、流軸上付近に渦の誘導速度に基づく強い上昇流が発生する(図4参照： $x/Ho=8.75, 10.0$ )。この上昇流によって表層流は表層へ再付着し、その時に得た慣性力によって表層を大きく拡がる(B-B'断面)。また、表層流の一部は潜り点を越えて表層を流れ続けるが、これも再付着の際に得た慣性力によるものと推察される。

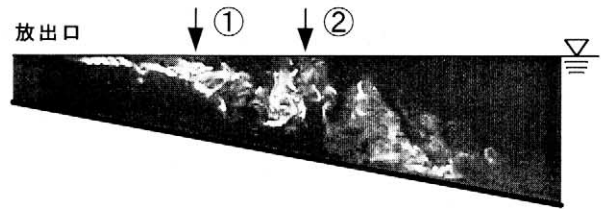


写真2 密度噴流の縦断面内流況  
( $Fo=2.9, S=1/5$ )

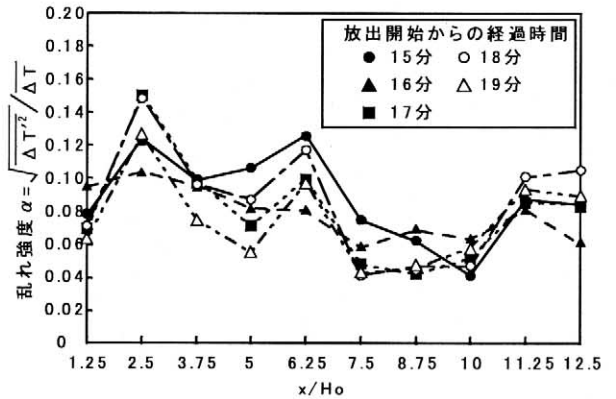


図3 表層における流軸上水温差の乱れ強度  
( $Fo=6.5, S=1/5$ )

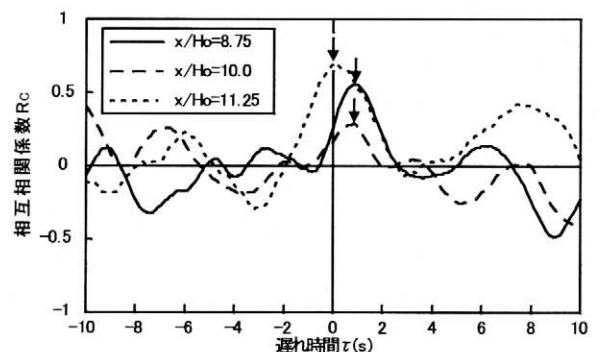


図4  $z=3.0\text{cm}$ と $z=0.5\text{cm}$ の水温に対する相互相関係数  
( $Fo=6.3, S=1/5$ )

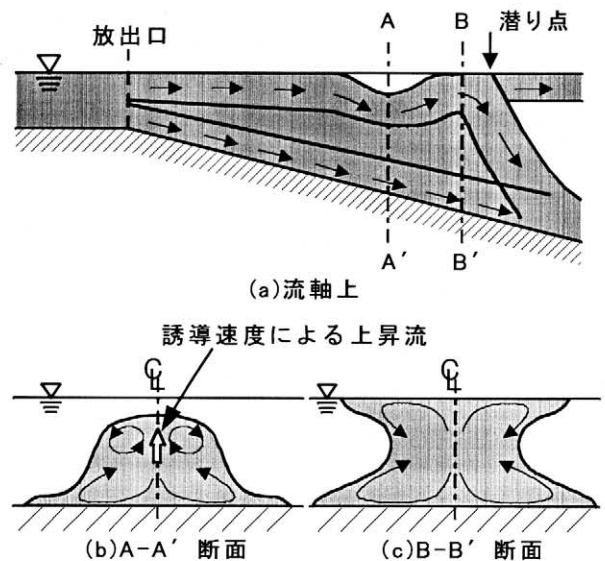


図5 渦の誘導速度説に基づく流動メカニズム

#### 参考文献

- 1) 中井正則, 有田正光, 梅基 淳: 負の浮力を持つて斜面上に表層放出される三次元密度噴流の流動・拡がりについて, 可視化情報, 2000(印刷中)。