

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潜り点と流動形態

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

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、環境水理学上の研究課題である。著者ら¹⁾⁻³⁾は三次元の場合について詳細な実験を行い、現象の概要の把握ならびに流動メカニズムの解明を試み、三次元現象に特有な流動メカニズムが存在することを指摘してきた。本論文はこれまでの研究成果を踏まえて、密度噴流の潜り点と流動形態の関係について実験的に考察したものである。

2. 考える流れの場と実験の概要

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 F_o で斜面勾配 S の斜面上に表層放出され、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問題を考える。ここに、 F_o は $F_o = U_o / \{(\Delta \rho_o / \rho_a) g H_o\}^{1/2}$ 、 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、 ρ_o は放出水の初期密度、 ρ_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。

使用した実験装置は約 $6.0\text{m} \times 2.5\text{m} \times 0.6\text{m}$ (縦×横×高さ)の平面水槽である。水槽には、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てある。実験では、水で満たされた水槽中へ冷水を放出することにより、負の浮力を持つ三次元表層放出密度噴流を再現した。実験条件は $S = 1/4 \sim 1/\infty$ 、放出流量 $Q = 0.05 \sim 0.30\text{ l/s}$ 、放出温度差 $\Delta T_o = 4.0 \sim 6.0$ 程度、 $F_o = 1.5 \sim 10$ 程度とし、また、 H_o は全ケースを通じて 4.0cm に固定した。

3. 実験結果と考察

図-2 に無次元潜り点距離 $L_p^* (= L_p/H_o)$ と F_o の関係を S をパラメータにして示す。いずれの S に対しても、 F_o の増大に伴って L_p^* が大きくなっているが、

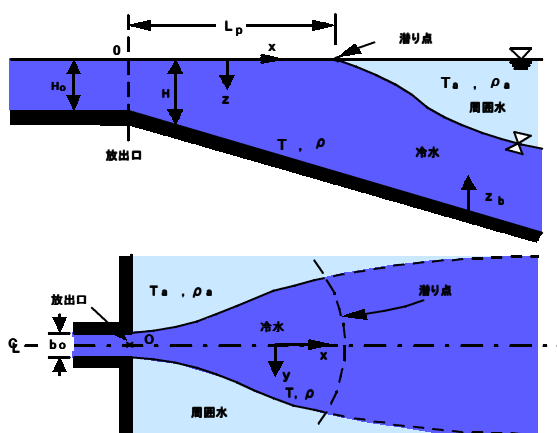


図-1 流れの模式図と座標系

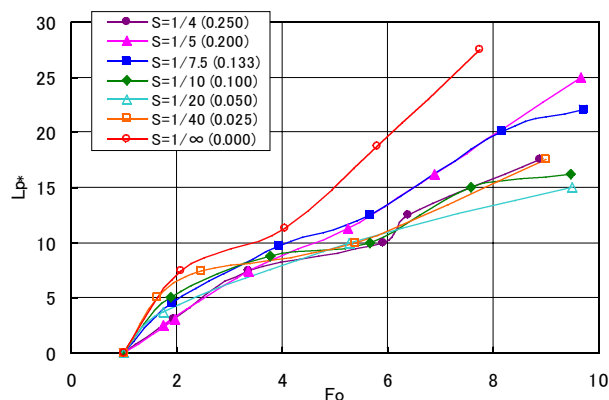


図-2 S をパラメータとした L_p^* と F_o の関係

これはもちろん慣性力が強化されるためである。また、 L_p^* は F_o 4 程度では S にあまり依存しないのに対し、 F_o 4 程度では S ごとに異なった特性を示す。つまり、同図では F_o 4 程度における F_o と L_p^* の関係が、 $S = 1/\infty$ 、 $S = 1/7.5 \sim 1/5$ 、 $S = 1/40 \sim 1/10$ 、 $1/4$ の順に大きくなっており、 S に対して単調に変化してしない。このように、 F_o 、 S 、 L_p^* の3者の関係はかなり複雑である。

図-3 はこの点を明らかにするために、 F_o 、 S 、 L_p^* の関係を三次元的に表示したものである。なお、同図中では全領域 ($1 \leq F_o \leq 10$, $0 \leq S \leq 0.250$) を Type 1, 2, 3 の流動形態ごとに色分けして示しているが、それぞれの流動形態の特徴については後述する。 L_p^* は前述のように、 F_o および S によって複雑に変化しているが、なかでも $F_o = 5$, $0.125 \leq S \leq 0.225$ で大きい値をとっていることが目を引く。これは、流動

キーワード：負の浮力，三次元密度噴流，潜り点，流動形態

連絡先：350-0394 埼玉県比企郡鳩山町石坂 TEL 049-296-2911 FAX 049-296-6501

形態の問題と密接に結び付いていると推察される。

以下で、流動形態について説明する。二次元の場合には、(密度噴流の潜り点付近への)周囲水の侵入形態が密度楔・密度カレントのいずれであるかによって、密度噴流の流動形態を分類できたが⁴⁾、三次元の場合には周囲水の侵入形態として密度楔が出現することは考えにくい。ここでは、周囲水の侵入形態が密度カレントに限定されるとして、密度噴流の流動形態を以下の様に3種類に分類する。

Type I では、密度噴流は一定の距離流下した後単純に潜り込んでいく(図-4(a)参照)。出現条件は、 F_0 または S が小さいこと($F_0 < 2$ または $S < 0.050$)である。なお、流況は F_0 が小さい場合には静穏であり、一方、 S が小さい場合にはダイナミックである。Type II は、密度噴流が一旦沈み込んだ後に再浮上・再付着するといった複雑な挙動を示すタイプである(図-4(b)、図-5 参照)²⁾⁻³⁾。出現条件は、 F_0, S がともに中程度の値を持つことである。Type III では、密度噴流の一時的沈み込み後に再浮上が見られるが、水表面への再付着は生じない(図-4(c)参照)。出現条件は、 F_0, S がともに大きいこと($F_0 > 6, S > 0.200$)である。

これらの流動形態の特徴を踏まえて図-3を見ると、 $F_0 > 5, 0.125 < S < 0.225$ の領域で L_p^* が大きくなるのは、Type II の流動形態が出現するためと考えられる。つまり、Type II では密度噴流の再浮上・再付着が L_p^* を増大させている(一時的沈み込み点～潜り点までの距離の分だけ L_p^* が増大する。図-4(b)参照)。なお、密度噴流の再浮上・再付着は二

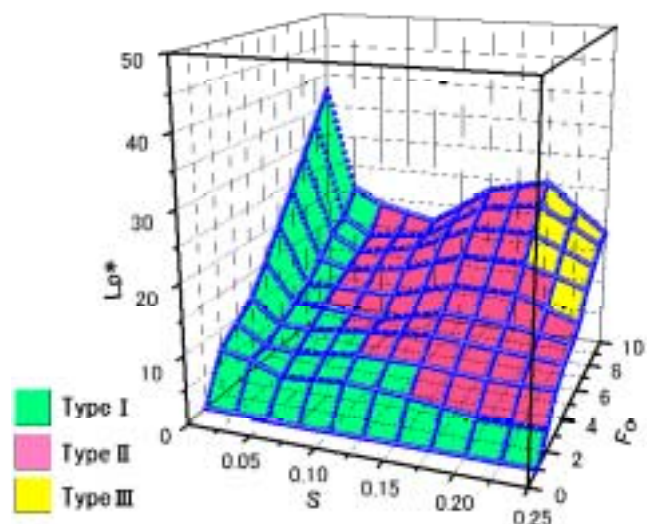


図-3 F_0 - S - L_p^* の関係の三次元表示

次元の場合には決して出現せず、三次元現象に特有のものである(この流動メカニズムの詳細については、文献2)、3)を参照されたい)。

4. まとめ

本研究により、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無次元潜り点距離 L_p^* は、放出密度フルード数 F_0 と斜面勾配 S によって複雑に変化することが明らかになった。また、密度噴流の流動形態は3種類のタイプに分類でき、 F_0, S による流動形態の変化が L_p^* に大きな影響を与えている。

参考文献

- 1) 有田正光, 中井正則, 渡辺 徹, 梅基 淳: 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に関する実験, 水工学論文集, 第42巻, pp.535-540, 1998.
- 2) 中井正則, 有田正光, 梅基 淳: 負の浮力をもって斜面上に表層放出される三次元密度噴流の流動・拡がり機構について, 可視化情報, 第20巻, 第78号, pp.47-53, 2000.
- 3) 中井正則, 有田正光, 田原定憲: 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に関する実験的考察, 水工学論文集, 第46巻, pp.1217-1222, 2002.
- 4) 有田正光, 塚原千明: 貯水池密度流の潜り点の水理条件に関する実験的研究, ながれ, 第15巻, 第5号, pp.409-416, 1996.

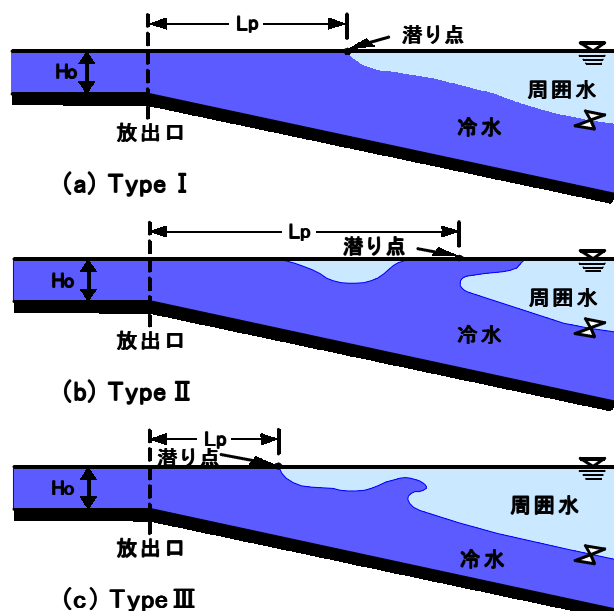


図-4 流動形態の分類(流軸上縦断面内の流況)

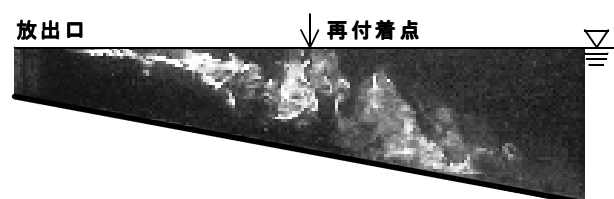


図-5 Type II の可視化写真(流軸上縦断面内の流況: $F_0=2.9, S=1/5$)