

II-339

深層水揚水筒の流れに水面が及ぼす影響に関する基礎的研究

宇都宮大学 工学部 正員 池田裕一
 福島県 山田明弘
 宇都宮大学 工学部 正員 須賀堯三

1. はじめに

深層水揚水筒は、湖沼・貯水池・海洋などの底層付近にある密度の高い水塊を水面付近まで揚水し、上層の流体と混合させるもので、閉鎖性水域の富栄養化防止や人工的な漁場の確保に有効であると考えられている。この種の揚水筒に関しては、その先端を水面直下まで伸ばし、そこから上方に底層水を放出してやることにより、混合効率の高いシステムが得られることが報告されている¹⁾。しかし、その場合に水面が及ぼす影響について詳細に検討した例は少なく、限られた範囲での現象を考えるにとどまっているのが現状である。

そこで今回は、なるべく広いレンジで実験を行ない、水面直下から上方に放出された高密度噴流の形態の変化と、それに伴う密度成層の時間推移の相違について、検討を加えることにした。

2. 実験装置及び方法

実験には断面1m×1m、深さ1mの透明アクリル水槽を用い、その中央に揚水筒を設置した（図1）。揚水筒の長さは70cmで、半径dは1.8cm、2.5cmの2通りとした。そして、電動ポンプにより水槽の底面から取水し、揚水筒先端から水面に向けて噴流を放出できるようにした。密度成層には塩水を用い、鋭い密度界面を持つ密度成層を形成させた。また、密度分布の測定には電気伝導度計を用いた。

3. 流れパターンの変化

まず、流量が小さいうちは水面に達しないうちに流れは下降に転じてしまう（写真1）。これは、流れの慣性に比べて周囲との相対重力が大きく、水塊を上昇させるだけの運動量が維持できなくなるためである。この流れパターンをここではタイプAと呼ぶことにする。

つぎに、流量を増していくと流れは水面に達するようになり、写真2に見られるように、水面に沿ってある程度広がったところで水面下へと沈み込むようになる。これは、流れの持つ速度水頭の分だけ水面が低下し、そのために流れの下端での圧力が密度の高い水塊を支え得るに十分な大きさを保つことができるためである²⁾。この流れパターンを以後タイプBと呼ぶ。

さらに流量を増していくと、流れは水面に沿って広がるのを唐突に止めて、そのまま下方へと流下していくようになる（写真3）。タイプBのメカニズムを考える限り、流量が大きいくほど流れは遠くまで広がるはずであり、このような流れを考えるにはそれとは別のメカニズムを新たに導入する必要があるが生じてくる。この新しいパターンをタイプCと呼ぶことにする。

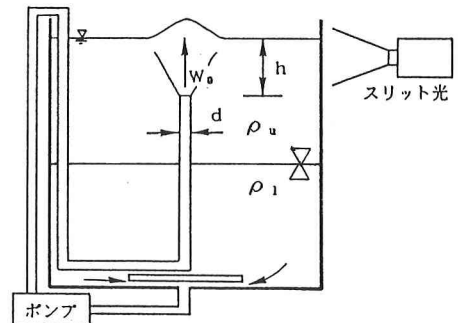


図1 実験装置



写真1 タイプA

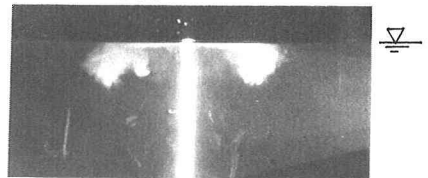


写真2 タイプB



写真3 タイプC

4. 流れパターンの類別

まず、タイプA-B間の遷移は密度フルード数

$$F_d = w_0 / \sqrt{d(\rho_1 - \rho_0)g/\rho_0} \quad (1)$$

で整理することができる。図2は実験条件を h/d と F_d で整理してプロットしたものである。これを見るとタイプAとBはTurner³⁾の実験結果を用いてよく類別することができる。図2

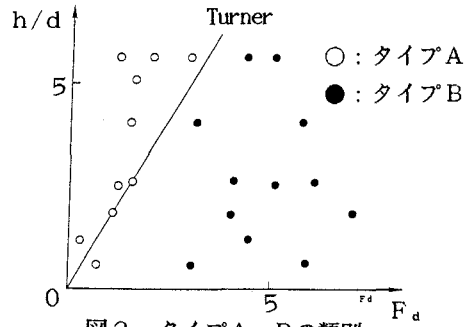


図2 タイプA-Bの類別

タイプB-C間の遷移については、水面を固定壁で置き換えて実験を行うと、タイプCが現れる条件下であっても、依然としてタイプBのままであることがわかった。これより、中心部の水面が周辺に比べて著しく盛り上がるのがタイプCの発生要因であるといえよう。そこで、 h/d とフルード数

$$F_r = w_0 / \sqrt{gd} \quad (2)$$

で実験結果を整理すると図3のようになる。図中の曲線は今回の一様密度噴流の実験で得られた遷移曲線

$$F_r = 0.90 + 0.15(h/d)^{1.1} \quad (3)$$

であり、これによってタイプBとCがよく類別されているのがわかる。これはあくまで経験式ではあるが、とりあえずおおよその判断基準として用いることができるであろう。図3

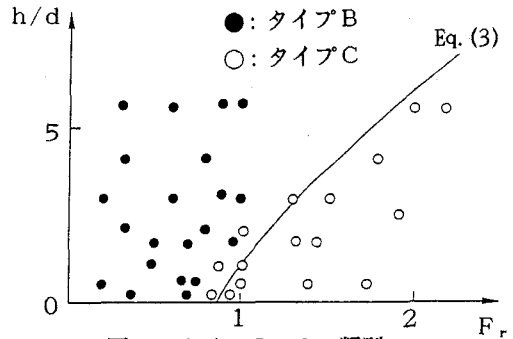


図3 タイプB-Cの類別

5. 密度成層の混合に及ぼす影響

図4は、上方へ放出された流れが再び揚水筒先端の高さまで戻るまでの連行量 Q_e を示したものである。タイプBでの連行が大きく、単に揚水流量を大きくしただけでは効率的な混合は望めないことがわかる。また、 h/d が大きいほど連行量は多く、水面に達するまでの連行が支配的であることがうかがえる。

密度成層の混合の進み具合は位置エネルギーの増加として捉えることができる。図5は、密度分布の測定結果から算出した位置エネルギー E の相対的な増加量

$$\Delta \bar{E} = (E - E_0) / (E_1 - E_0) \quad (4)$$

の時間変化を示したものである。ここに添字 0, 1 はそれぞれ混合前および完全混合状態を意味する。また混合時間 t は、下層の流体を揚水するのに要した時間 T で無次元化してある。この図から、やはりタイプBの混合効率が高く、初期にはタイプCの2倍にもなることがわかる。ただし、水面までの高さが高くなるとタイプBを実現するための流量も大きくなるので、全体としての効率や運用方法に関して、さらに検討していく必要があろう。

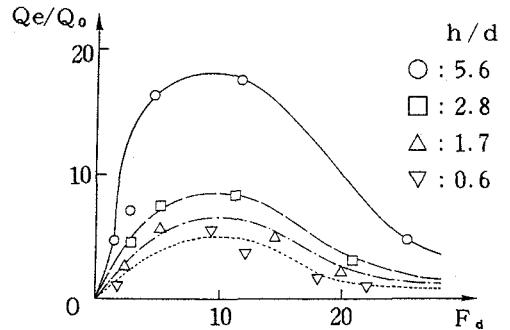


図4 密度フルード数と連行係数

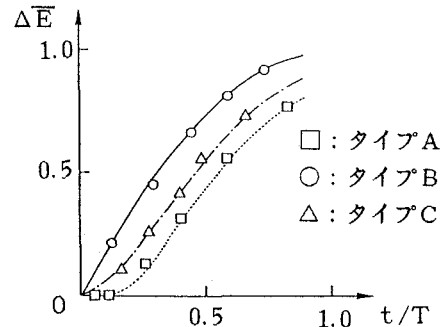


図5 成層の位置エネルギーの時間変化

参考文献

- 1) 浅枝・中井:土木学会論文集, 411, 91-98, 1989.
- 2) 浅枝 他:土木学会論文集, 411, 109-115, 1989.
- 3) Turner, J.S.: Jour. Fluid Mech., 26, 779-792, 1966.