

コアンダ効果を利用した湧昇流発生法の現地成層・流動条件への適用

東京電機大学 学生会員 ○近藤 秀紀
 東京電機大学 正会員 佐藤 大作
 東京電機大学 正会員 有田 正光

1. はじめに

夏季のダム貯水池では有機汚染による水質悪化が問題となっており、この対策として一般的に曝気循環法が用いられている。実際に曝気循環装置は多くのダム貯水池で導入され、その効果が報告されている¹⁾。しかし、継続的な利用には曝気装置の運転費用が問題となる可能性がある。本研究では近藤ら²⁾が提案した自然エネルギーを利用した低ランニングコストの湧昇流形成手法に着目し、湧昇流の上下層混合に対する有効性を実験的に検討しようとするものである。

2. コアンダ効果を利用した湧昇流形成手法

壁面に対して放出角度 θ_0 で斜めに放流される噴流（以下では、斜放出壁面噴流という、図-1 参照）は θ_0 を適切に選べば壁面との間に低圧渦が形成されコアンダ効果によって壁面に再付着し、その後は壁面噴流として流動する。斜放出噴流は噴流自らが形成する低圧渦によって壁面に拘束されるため、流動に対して安定性が高いという特徴を持っていると考えられる。

近藤ら²⁾は種々の放出方式について実験的検討を行い、放出角度 $\theta_0=30^\circ$ の斜放出噴流が上下層混合に対して効果的な湧昇流が得られることを明らかとしている。本研究でも放出角度 $\theta_0=30^\circ$ に着目し、種々の流動・成層条件に対する上下層混合効果を実験的に検討した。

3. 実験的検討

3-1 実験装置および実験要領

実験装置を図-2 に示す。アクリル水槽は長さ 195 [cm]、高さ 30 [cm]、幅 5 [cm] であり、放出口は水槽底から

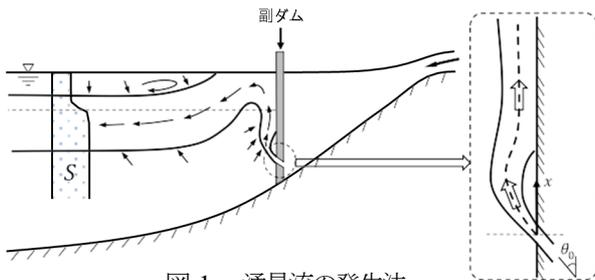


図-1 湧昇流の発生法

8 [cm] の位置に設置し、放出口幅 0.5 [cm] とした。

本研究では愛媛県の野村ダム貯水池を取り上げ、そこで観測された水理・成層条件³⁾を元に実験条件を設定した。本研究では流れの詳細なメカニズムを検討するため、放出流量と同量の下層水を下流側より補給し、定常状態を維持して実験を行った。

実験条件を表-1 に示す。野村ダムの現地成層・流動条件を基本とし、成層の幾何条件および後述する 3 種の密度フルード数を変化させて実験を実施した。なお、現地水温から得られる密度差を実験では塩分濃度で調整した。

3-2 密度流のために導入するパラメータ

現地の成層化した貯水池に斜放出噴流を放出した場合の流況を再現するための相似則として、図-3 に示すように放出口幅 h_0 、放出口から密度界面までの長さ L_S 、放出口から密度界面までの長さ L_B を長さスケールに採用した 3 種の密度フルード数を導入する。

$$F_{do} = \frac{U_0}{\sqrt{g'h_0}}, \quad F_{dos} = \frac{U_0}{\sqrt{g'L_S}}, \quad F_{doB} = \frac{U_0}{\sqrt{g'L_B}} \quad (1)$$

U_0 は放出水の流速、 $g'=(\Delta\rho/\rho_0)g$ 、 $\Delta\rho=\rho_2-\rho_0$ である。以上の指標および現地の成層に関する幾何条件を合わせることで、現地の状況を実験で再現することが可能となる。

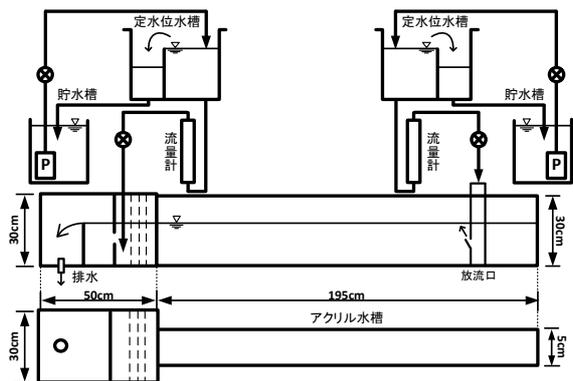


図-2 実験装置

表-1 実験条件

ケース名	全水深 H [cm]	放出流量 Q_0 [l/min]	上層厚さ h_1 [cm]	下層厚さ h_2 [cm]	F_{do}	F_{doB}	F_{dos}
Case A	25	1.6	8.5	16.5	8.81	2.14	1.51
Case B			4.25	20.75			
Case C			3.2	8.5	16.5	17.62	4.27

キーワード 密度成層, 上下層混合, 湧昇流, コアンダ効果, 水槽実験

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

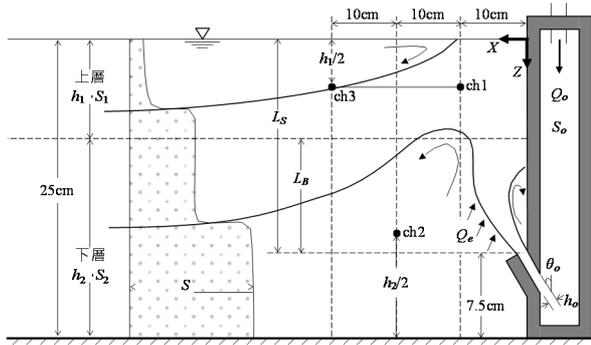


図-3 放出口近傍の模式図

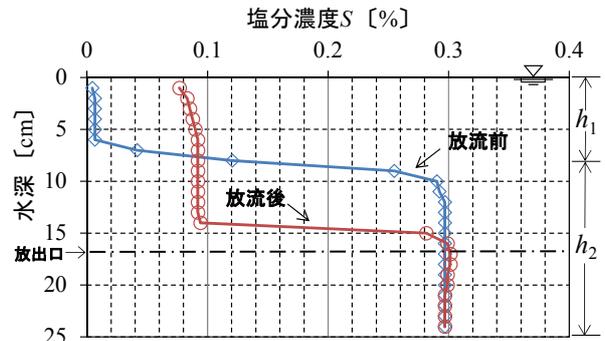


図-4 Case A の塩分濃度鉛直分布 (X=30 [cm])

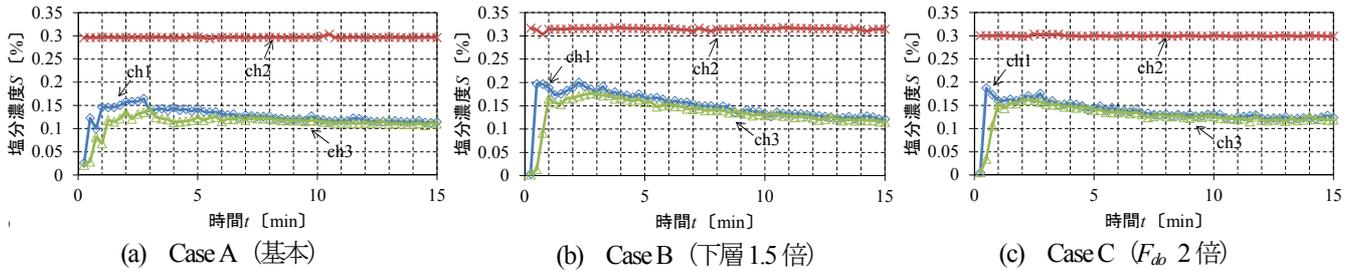


図-5 各実験ケースにおける塩分濃度の経時変化

3-3 実験結果と考察

上下層混合効果は水槽内の塩分濃度を計測することで検討した。図-4 は野村ダムの成層・流動条件と同等となる Case A の実験ケースについて、図-3 中の X=30 [cm] の断面での初期および放流 15 分後の塩分濃度の鉛直分布の計測結果を示している。同図より、放流後の密度界面位置が放流前と比較して 6 [cm] 程度降下しているとともに上層水の密度が 0.1 [%] に上昇していることもわかる。これより、野村ダムの成層・流動条件において上下層混合効果が得られたことが確認された。

図-5 は各実験ケースについて計測点 ch1~ch3 (図-3) において計測した塩分濃度の経時変化を示している。同図より、上層放流口側に位置する ch1 では、全ケースで放流直後に塩分濃度のピーク値が発生しているが、LB を 1.5 倍に増加させた Case B では 0.2%、放出流量を 2 倍にした Case C では 0.18% となっており、Case A の 0.16% よりも高い値となっている。これは基本となる Case A の実験ケースと比較して下層水の上層への連行が活発に行われたことによるものと考えられる。

ここで、連行量について計測結果から議論する。密度界面での湧昇流中の塩分濃度および流量の連続条件より、放出流量と総連行流量の比 Q_e/Q_0 は次式で示される。

$$\frac{Q_e}{Q_0} = \frac{S_i}{S_2 - S_i} \quad (2)$$

ここで、 Q_0 : 放出流量、 S_i : 密度界面における塩分濃度、 S_2 : 下層水の塩分濃度である。密度界面での塩分濃度 S_i は

定常状態であれば上層内で一定となるため、Case A, B, C の ch1 における塩分濃度の計測結果よりそれぞれ $S_i=0.1, 0.12, 0.12\%$ を得る。また、実験条件より $S_2=0.3\%$ となることから、無次元連行流量 Q_e/Q_0 はそれぞれ $Q_e/Q_0=0.5, 0.67, 0.67$ との結果を得た。

4. まとめ

本研究より、現地の成層・水理条件に対して形成した湧昇流は上下層混合効果を有することがわかった。また、上下層混合において重要となる連行流量の増加には、連行可能距離の延伸や放出速度の増加が有効であることがわかった。しかし、対象とする水域の成層・流動条件に対して最適な湧昇流形成のための指標を見出す必要があると考えられる。今後は湧昇流の三次元的な流況特性を検討可能な実験装置を用いて、成層・流動条件に対する最適条件の決定方法についての検討を進める予定である。

参考文献

- 1) 関根秀明, 吉田延雄, 梅田信, 浅枝隆: 曝気式循環施設の理論とその効果に関する考え方, ダム工学, 13(1), pp5-18, 2003.
- 2) 近藤秀紀, 佐藤大作, 有田正光: コアンダ効果を利用した新たな湧昇流発生手法の有用性に関する研究, 土木学会第 69 回年次学術講演会講演概要集, II-155, pp.301-310.
- 3) 国土交通省四国地方整備局野村ダム管理所: 曝気装置の概要説明, <http://www.skr.mlit.go.jp/nomura/shiryoku/baxtuki.pdf>