

## 流動制御フェンスを利用した貯水池の成層破壊に関する実験的検討

東京電機大学 理工学部 正会員 ○古里 栄一  
 東京電機大学 理工学部 正会員 武村 武  
 東京電機大学 理工学部 正会員 有田 正光

### 1.はじめに

ダム貯水池では植物プランクトンの異常増殖対策として曝気式循環施設が多く導入されている。この装置は気泡噴流によって貯水池全域の湖水循環を促がし、藻類に光制限を与えることによりその増殖を抑制することを目的としている。一方、流動制御フェンスは栄養塩を含む河川水を下層に侵入させ、貯水池内の栄養塩制限により藻類の増殖を抑制することを目的としている。この流動フェンスを本来の目的とは異なるもの、上下層混合の促進に利用可能であれば曝気循環装置の設置基数の削減や運用コストの軽減に寄与できると考えられる。本研究は藍藻類異常増殖抑制の観点から、流動制御フェンス(以下では単にフェンスと称する)を貯水池内の混合のための補助装置として活用する工学的手法を提案しようとするものである。本報ではフェンスを通過する流れを可視化するとともに、フェンスが貯水池の下層水の巻き上げと貯水池内の混合に寄与する効果を実験的に明らかにしようとするものである。

### 2.実験概要

実験装置は図1に示すようにフェンス模型を設置するための幅 $B=5\text{cm}$ の亚克力水路(高さ $29\text{cm}$ 、長さ $200\text{cm}$ )と、接続する貯水槽(幅 $118\text{cm}$ 、高さ $50\text{cm}$ 、長さ $90\text{cm}$ )から構成されている。実験では全水深 $H=25\text{cm}$ とし、上層を淡水(上層厚 $h_1=14\text{cm}$ 、密度 $\rho_1=0.998\text{ (g/cm}^3\text{)}$ )、下層をメチレンブルーで着色した塩水(下層厚 $h_2=11\text{cm}$ 、密度 $\rho_2=1.003\text{ (g/cm}^3\text{)}$ )の二成層とした。実験では水路の下流端の水路底より $13\text{cm}$ の位置にスリット口(幅 $5\text{cm}$ 、高さ $0.2\text{cm}$ )を設置して二次元的に上層を取水した。また、幅 $5\text{cm}$ のフェンス模型を下流端から $130\text{cm}$ 上流に設置した上で、その開口高さ $h_0$ を変化させて流況の可視化実験を実施した。

実験ではスリット口より一定の取水流量( $Q=9.2\text{ l/min}$ )で60秒間取水して下層塩水の巻き上げの流況を撮影した。また、フェンス下端の開口高( $h_0$ )は、 $1\text{cm}$ から $15\text{cm}$ までを $2\text{cm}$ 刻みで計8ケースを設定し、各ケースについて2回の実験を実施した。この $h_0$ を変化させると、開口部を通過する流れの流速が変化し(開口高が小さい程、流速が速い)、開口部の密度フルード数は $0.24\sim 14.12$ の範囲で変化する。実験においては、フェンスによって下流部の密度界面の位置が変化する。このフェンスによる密度界面の位置の実験開始前の淡塩境界面からの上昇高を $H_{rD}$ (以下、変動高さと呼ぶ)とし、その値を測定した(図2参照)。

以下では実験における流況を論ずるために、次式

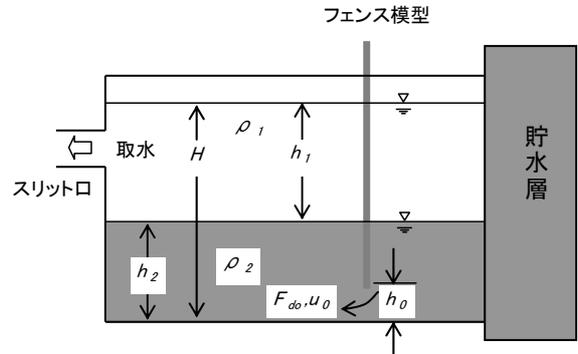


図1 実験装置の模式図と記号

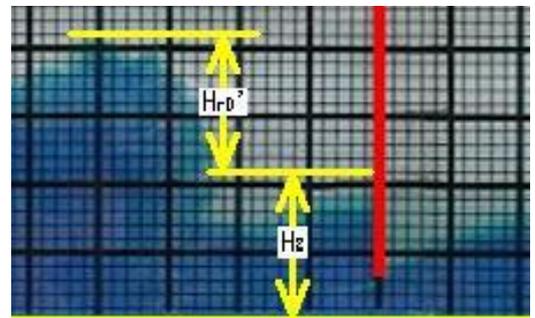


図2 密度界面高さの例

のフェンス地点の開口部で定義される密度フルード数を使用する。

$$F_{d0} = u_0 / \sqrt{g' h_0} \quad (1)$$

ここに、 $g' = \{(\rho_2 - \rho_1) / \rho_2\} g$ 、 $h_0$ は開口高、 $u_0$ はフェンス下の開口部の流速である。

### 3.実験結果と考察

図3は実験によって得られた $F_{d0}$ と $H_{rD}$ 'の関係を示したものである。同図より $H_{rD}$ 'は $F_{d0}=1$ 近傍でピークを持っていることが分かる。つまり、下層水の巻き上げの為には $F_{d0}\sim 1$ とすることが適切であることが明らかになった。以下にこの現象のメカニズムについて検討する。

本報の実験はフェンスの下の開口部から負の浮力を持つ密度流が密度フルード数 $F_{d0}$ で貯水池内に放出される問題である。このとき、貯水池内に生ずる流動は表1に示すように分類することができる。Type I(密度噴流・内部跳水タイプ)のフェンス下端を通る流れが密度噴流と内部跳水からなるタイプと、Type II(成層流タイプ)の流れが成層流となるタイプに分類できる。実験によればType IIのケースでは一般にフェンス下流で弱い湧昇流が観察されるものの、貯水池の

表1 フェンス下流側で生じる流動の分類

タイプ	記号	流動の状況
Type I (密度噴流・ 内部跳水タイプ)	I-A (全域密度噴流)	$F_{d0} > 1$ で放流され $h_{rs} = h_2$ となるケースに発生し, 流れが全域で密度噴流となるので最終流動状態が $F_d = 1$ となるタイプ
	I-B (噴流混在型内部跳水)	$F_{d0} > 1$ で放流され $h_{rs} < h_2$ のケースで発生し, 密度噴流が跳水後に $F_d < 1$ となる内部跳水に接続するタイプ
	I-C (完全内部跳水)	$F_{d0} > 1$ で放流され, フェンス下端で直ちに内部跳水が発生するタイプ
	I-D (潜り内部跳水)	$F_{d0} > 1$ で放流されフェンス下端地点で内部跳水が潜るタイプ
Type II (成層流タイプ)		$F_{d0} < 1$ で放流されフェンス下端の流れが二成層流となるタイプ

※  $h_{rs}$  は  $F_d = 1$  となる下層厚

混合に及ぼす影響は小さいものであることが分かった。一方, Type I は内部跳水の有無や発生位置によってさらに分類される。つまり,  $F_{d0}$  が大きい条件では, 全域密度噴流の Type I-A あるいは内部跳水を伴う Type I-B~Type I-D が生じる。この Type I-A~I-D はもとの貯水池の密度界面の高さとフェンス下端を通過する密度噴流が内部跳水を伴う場合の最終流動厚との大小関係によって定まるものである。なお, 図4に Type I-B の流動の模式図を示す。

既述のように, 実験的観察によれば  $H_{rD}'$  は  $F_{d0} \sim 1$  でピークを持つ(図3参照), このメカニズムは  $F_{d0} = 1$  の大小によって2種類に分類できると考える。つまり1つは Type II で  $F_{d0} \sim 1$  の場合である。この場合は開口部の上端を上流水が高速で流れ, この高速の流れが密度界面の上昇をもたらすことになる。もう1つのメカニズムは Type I で完全内部跳水もしくは潜り内部跳水が生ずる場合であると考えられる。この内部跳水を伴うローラー部によって密度界面の巻上と強い上下層混合がもたらされると考えられる。

ところで,  $F_{d0}$  を大きくして密度噴流もしくは噴流混在型内部跳水を発生させる場合は密度界面の上昇高が小さくなることが認められた(図3参照)。これは, この場合にはフェンス近傍の密度噴流部分では連行現象による上下層混合が期待できるものの, 内部跳水のローラー部が小さいこと, また, 流速を大きくするために開口高を小さくすることによって開口部もとの密度界面の位置の乖離が大きくなり, 上下層混合が弱くなるためである。なお,  $F_{d0}$  を大きくするためには, 既述のように流速を大きくする必要が生ずるが, これにより湖底床の洗掘やフェンスの不安定な運動などの設計上の問題が生ずると考えられる。

以上の結果よりフェンス下端の流れを  $F_{d0} \sim 1$  程度に設定することが湖沼中の上下層混合の為に最も効果的であると位置付けられる。なお,  $F_{d0}$  が小さい条件で, かつフェンス下端の開口高に対して  $h_2$  が大きい条件では潜り内部跳水の潜りの程度が大きくなり上下層混合は期待できなくなることに注意が必要である。

4. 現地での適用性に関する考察

現地で設置されているフェンスは本来鉛直循環を期待したものではない。しかし, 本研究ではこれを貯水池内の混合促進に利用することを目的として検討を行ったものである。検討の結果,  $F_{d0} \sim 1$  の条件でフェンスを通過する流れとすれば効果的な上下層混合が

期待できることが明らかになった。なお, 従来から実施されている空気による曝気循環対策は設置コストや維持管理費(電気料金)が実用上の課題となる事が多い。本研究では, 湖水循環に要求される混合エネルギー量をフェンスを利用する事で低減することにより, 藍藻類増殖抑制効果を維持しつつ, 曝気循環施設の設置・維持管理費の削減を図ることを期待している。ただし, 本研究成果を実際に利用するためには様々な追加的検討が必要である。例えば, 工学的施設の観点からは, 所定の  $F_{d0}$  を得るためにフェンスの一部を二次元なものとしたり, 積極的に  $F_{d0}$  を大きくするための構造物の開発や施工も必要となると考えられる。

【参考文献】

有田正光・Gerhard H. JIRKA・玉井信行 (1986) 二次元表層放出密度流の流動形態と混合に関する研究, 土木学会論文集, 375, 61-67

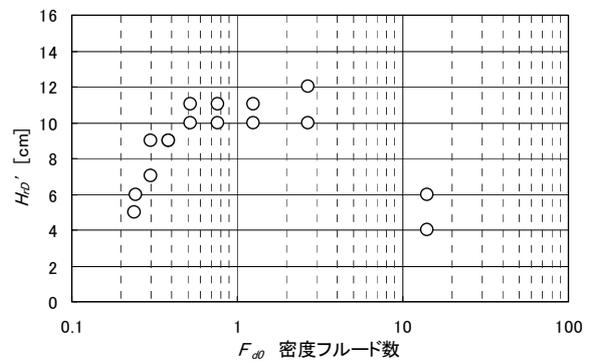


図3  $F_{d0}$  と  $H_{rD}'$  の関係

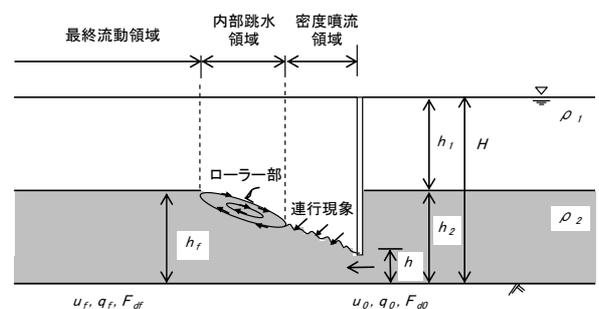


図4 内部跳水を伴う下層放出密度噴流 (Type I-B)