

遮蔽幕による表層流の希釈混合効果

九州工業大学工学部 学生員 ○片山 哲幸
 九州工業大学大学院 学生員 山崎 勉
 九州工業大学工学部 正員 秋山 壽一郎、アキスマルジヤ

1. はじめに

貯水池上流端で発生した淡水赤潮が表層流に乗り水域全体に拡がることある。対策の一つとしてカーテン等の遮蔽幕を設置する方法があるが、表層流の流動特性が十分に解明されていないこともあって、幕が設置された場合の表層流の希釈混合効果などについて十分な知見が得られているわけではない。

本研究は、このような背景を踏まえ、上下層が明確な界面を有する2次元表層流フロントの流動特性の定量化および表層流中に遮蔽幕を設置した場合の希釈混合効果について実験的に検討を加えたものである。

2. 実験

表層流フロントの流動特性の定量化：

表層流の浮力-慣性力領域、浮力-粘性力領域あるいは浮力-慣性力領域から浮力-粘性力領域への遷移領域が表れるように、流入条件(a, q₀, ε₀)を様々に変化させ実験を行った。測定は、塩水表面を流動する表層流フロントの様子をCCDカメラで撮影を行い、デジタルVTRに収録された画像をコンピュータ解析することにより、侵入長Lを算定した。ここに、ε₀=(ρ_a-ρ₀)/ρ_aである。主な諸量を図-1に示す。

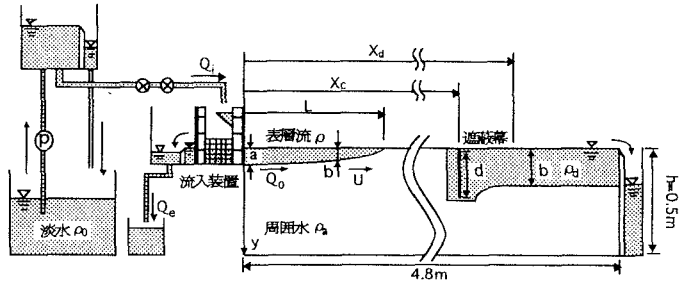


図-1 実験装置および流れの定義図

表層流中に遮蔽幕を設置した場合の希釈混合効果：表層流が実験水路の全長にわたって浮力-慣性力領域が表れるように流入条件をa=3cm, q₀=2.81(cm²/s), ε₀=0.0005 設定し、この流入条件を一定に保った状態で、遮蔽幕の設置深さd/aを7通り(d/a=2, 3, 4, 5, 6, 7および8)に変化させた。測定は、遮蔽幕下端から流出した流入水が下層水と希釈混合した後、再び安定した定常表層流を形成した地点(X_d=250cm)での鉛直塩分濃度分布を導電率計で行った。

3. 実験結果

表層流フロントの流動特性の定量化：表層流フロントの侵入長Lは、上下層が明確な界面を有するときには、浮力-慣性力領域では $L/((\epsilon_0 g q_0)^{1/8} t_1^{1.0}) = c_1 (t/t_1)^{1.0}$ 、浮力-粘性力領域では $L/((\epsilon_0 g q_0^2 / \nu^{1/2})^{1/4} t_1^{7/8}) = c_2 (t/t_1)^{7/8}$ で与えられる。ここに、t₁=両領域の遷移時間(=[q₀⁴/(ε₀g)²ν³]^{1/3})であるが、定数値c₁とc₂については決定されていない。

図-2は、各領域でのフロントの無次元侵入長L₁^{*}、L₂^{*}と無次元経過時間t/t₁との関係について調べたものである。ここに、L₁^{*}=L/((ε₀gq₀)^{1/8}t₁^{1.0})=c₁(t/t₁)^{1.0}、L₂^{*}=L/((ε₀gq₀²/ν^{1/2})^{1/4}t₁^{7/8})である。これより、それぞれc₁≒1.32およびc₂≒0.94のようになる。

各領域の無次元フロント層厚はb/(q₀²/ε₀g)^{1/2}=c₃とb/((q₀²ν^{1/2}/ε₀g)^{1/4}t₁^{1/8})=c₄(t/t₁)^{1/8}で与えられるが、定数値c₃とc₄はつ

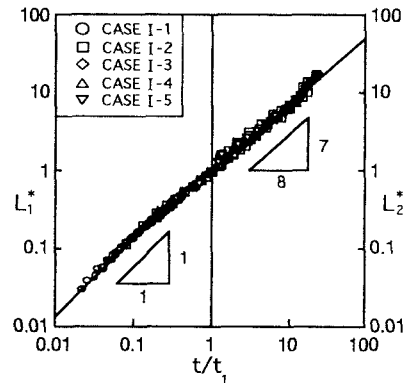


図-2 表層流のフロントの無次元侵入長

いては決定されていない。

図-3は、各領域の無次元フロント層厚 b_1^* 、 b_2^* と t/t_1 との関係について調べたものである。ここに、 $b_1^* = b / (q_0^2 / \epsilon_0 g)^{1/2}$ 、 $b_2^* = b / ((q_0^2 v^{1/2} / \epsilon_0 g)^{1/4} t_1^{1/8})$ である。フロント層厚については、かなりのデータのばらつきが認められるが、傾向的には上記の関係に従っていることがわかる。同図に基づき、それぞれ $c_3 \approx 0.85$ および $c_4 \approx 0.92$ ようになる。

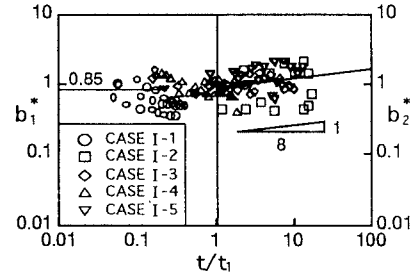


図-3 表層流の無次元フロント層厚

遮蔽幕の設置効果：図-4は、幕の下流で再度安定した表層流が形成される地点での相対密度分布を示したものである。なお、 b の定義はそこでの相対密度差が0となる水深としている。同図より、 $d/a=6$ 以上では表層全体にわたってはほぼ様な相対密度分布となっており、幕の設置による明確な希釈混合効果が認められる。目視観測によると、幕の下端より流出した表層流体が幕の背面に沿って浮力効果により上昇する際に発生する渦によって、周囲流体が取込まれリフトアップすることで表層流の希釈が生じることが確認された。

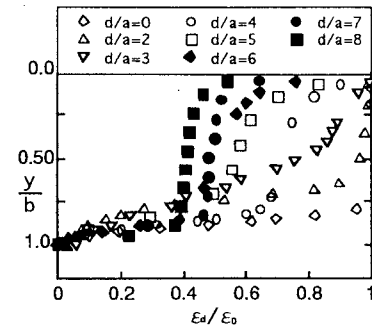


図-4 幕下流での定常表層流の相対密度分布

図-5は、幕の設置に伴う流入水の混合率 γ と無次元設置深さ d/a との関係について調べたものである。ここで、 γ は幕の設置に伴う正味の混合率であり、浮力フラックスの保存に基づき、 $\gamma = -1 + \epsilon_0 / \epsilon_d^* - \gamma_0$ より算定した。ここに、添字*は層平均量であることを示し、 γ_0 は幕が設置されていない状態での流入点から幕の設置位置までの総連行量であり、数回の測定の結果その値は約0.16であった。また、測定断面での内部Froude数 F_d は0.50程度であった。ここで、 γ_0 がほぼ一定の値を取る理由は、 γ_0 は主に流入時の初期混合で規定されており、これが極小小さくなるように実験条件を設定しているためである。同図より、 γ は d/a の増加とともに線形的に大きくなり、 $\gamma = 0.15(d/a)$ のような関係が成立することがわかる。なお、 $d/a \approx 7$ で約100%の希釈混合効果が期待できることから、この程度の設置深さにすれば、遮蔽幕の設置によって密度差を半分に減らせることがわかる。

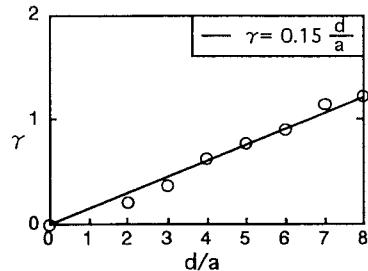


図-5 混合率 γ と無次元設置深さ d/a との関係

以上より、幕の下流側では流入水の密度は減少するので、表層流を中層流へ転化できる可能性があり、栄養塩類の流入と光合成反応に必要な光や水温などの環境条件の制御や操作が可能であると考えられる。

4. まとめ

本研究によって得られた結論は次のとおりである。

- (1) 上下層が明確な界面を有する時の浮力-慣性力領域および水表面にせん断力が働かない場合の浮力-粘性力領域における表層流フロントの流動特性を明らかにした。
- (2) 定常表層流中に設置された遮蔽幕の希釈混合効果について検討を加え、以下のような知見を得た。
 - ①表層流中に遮蔽幕を設置することで、下層の重い流体との希釈混合効果が期待できる。
 - ②跳層が存在しない混合型貯水池では設置深さの基準が全くないが、そのような場合は流入水深との関係で希釈率が規定されるため、 $\gamma = 0.15(d/a)$ が一つの目安になる。

参考文献：秋山壽一郎：流入型密度流の水利特性とその予測，湖沼、貯水地の管理に向けた富栄養化現象に関する学術研究のとりまとめ(代表者:浅枝隆)，土木学会水理委員会，環境水理部会，pp.69-167，2000。