

潜入密度流の初期混合とその制御に関する研究

九州工業大学工学部 正会員 秋山 壽一郎
九州工業大学大学院 学生員 山下 直樹
大分県 非会員 佐藤 伸広

1.はじめに

淡水赤潮は、貯水池上流端に見られることが多い。このようなプランクトンの集積因子としては、河川からの栄養塩の供給に加え、プランクトン自身の浮上作用や走光性などの生物学的因子と河川水が貯水池水に潜り込む際に発生する潜入密度流などの力学的因子があげられる。

淡水赤潮を制御するための基本的方針は、潜入密度流による赤潮物質の集積域への集中を阻止するとともに、下層密度流による下流への輸送を促進し、放流等で貯水池内のプランクトン総量を減らすことである。このための具体的な手法の一つとして遮蔽膜の設置があるが、その設置効果に関する水理学的な検討はほとんどなされていないのが実情である。本研究は、以上のような背景を踏まえ、遮蔽膜と潜入密度流との関係について基礎的な知見を得ることを目的として実施したものである。

2.実験

実験装置は、前面アクリル製の水槽(長さ9.0m、幅0.6m)中に水路(水平区間長1.15m、傾斜区間長7.5m)を設置したものであり、水平区間の水深 h_0 と傾斜区間の勾配 I はそれぞれ $h_0=5.0\text{cm}$ と $I=1/30$ の一定値に保たれている。実験は、遮蔽膜が設置されていない場合(CASE A)と設置されている場合(CASE B)とについて行った。CASE B-1は、遮蔽膜を潜入点の上流側に、CASE B-2は下流側に設置した場合である。実験条件は、CASE Aでは相対密度差 ε_0 と単位幅流量 q_0 をそれぞれ3通りに変化させた。CASE Bでは、 ε_0 を一定値に保ち、 q_0 を3通りに変化させた。なお、遮蔽膜は潜入点の上流側(x_{fu})あるいは下流側(x_{fd})に設置し、いずれも潜入点から測って $5h_p$ の位置に設置した。定義図と重要な諸量を図1示す。実験方法としては、CASE Aではレザースリット光で可視化した潜入点近傍の流況をデジタルVTRに収録し、画像解析およびPTV解析より、潜入水深 h_p と初期混合率 γ の定量化を行った。また、潜入点から $15h_p$ の地点での下層密度流の塩分濃度を導電率計で、流速を電磁流速計で測定し、それぞれの鉛直分布を求めた。CASE Bでは遮蔽膜近傍の流況を撮影するとともに、導電率計を用いて遮蔽膜下流の下層密度流の塩分濃度を求め、それよりそこでの混合率の算定および下層密度流の特性量の定量化を行った。

3.実験結果

[潜入密度流の特性(CASE A)]：遮蔽膜の設置に当たっては、遮蔽膜がない状態での潜入水深 h_p と初期混合率 γ を知っておく必要がある。ここで初期混合とは、潜入密度流が潜入点から下層密度流となるまでの区間での周囲水の総連行量である。等幅水路では h_p と γ はそれぞれ式(1)と(2)のように定義される。

$$h_p/h_c = F_p^{-2/3} \quad (1) \quad ; \quad \gamma = q_e / q_0 \quad (2)$$

ここに、 F_p =潜入点での内部Froude数($= (q_0^2 / \varepsilon_0 g h_p^3)^{1/2}$)、 h_c =内部限界水深($= (q_0^2 / \varepsilon_0 g)^{1/3}$)、 q_0 =河川から水域への単位幅流入流量、 q_e =単位幅当たりの初期混合量、 ε_0 =周囲水と流入水の相対密度差($\varepsilon_0 = (\rho_0 - \rho_a) / \rho_a$)および g =重力加速度である。

式(1)から明らかなように、 h_p を求めることは F_p を定めることと同じであるが、これまで等幅矩形水路に関する実験研究で得られた知見を総括すると、 F_p は約0.25~1.0の範囲の値を取り、初期混合率 γ は0~約2.0の範囲で散らばることが知られている¹⁾。水路床勾配 I が極めて大きい($I > 1/10$)場合に $F_p < 0.5$ の値を取るが、このような状態を除けば、多くのデータは $F_p = 0.5 \sim 0.75$ の範囲に収まり、平均的には $F_p = 0.56$ になる。

キーワード: 富栄養化、潜入密度流、ダム貯水池、遮蔽膜、水質改善

住所: 北九州市戸畑区仙水町1-1 九州工業大学工学部 建設社会工学科 水工学研究室 093-884-3125 093-884-3105

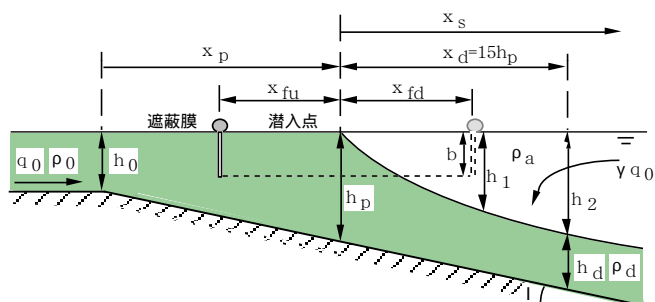


図1 潜入密度流の定義と重要な諸量

図2は、本研究で得られた h_p と h_c の関係についてプロットしたものである。図中にはこれまで得られた代表的な結果も同時に示してある。これより、 F_p は0.5～0.7の範囲の値を取り、平均値は $F_p = 0.57$ であり、既往の結果とほぼ一致した。なお、下層密度流の内部Froude数 F_n は $F_n = 1.27$ となり、 $I=1/30$ は内部的な急勾配水路である。 γ と流入内部Froude数 $F_0(=(q_0^2/\varepsilon_0 g h_0^3)^{1/2})$ との関係について調べたものが図3である。これより、 γ は F_0 に依存せず $\gamma = 0.50$ 程度の値を取ることがわかった。

1.27となり、 $I=1/30$ は内部的な急勾配水路である。 γ と流入内部Froude数 $F_0(=(q_0^2/\varepsilon_0 g h_0^3)^{1/2})$ との関係について調べたものが図3である。これより、 γ は F_0 に依存せず $\gamma = 0.50$ 程度の値を取ることがわかった。

[遮蔽膜の設置効果(CASE B)]：遮蔽膜の設置深さ b/h_1 を0.3、0.6、0.9および1.0の4通りに変化させ、その設置効果について検討を加えた。図4は、遮蔽膜の設置深さ b/h_1 の違いに対する流況変化を示したものである。これより、CASE B-1では、最終的には膜がない状態での潜入点近傍で潜入するようになり、遮蔽膜の設置効果が全く認められないことが明らかになった。一方、CASE B-2ではその設置深さによって異なった流況を呈することが認められた。則ち、設置深さが小さい場合($b/h_1=0.3$)ではその設置効果は認められないが、大きい場合($b/h_1=0.9$ および 1.0)ではより水深が大きい水域に潜入させることが可能となり、下層密度流による下流への輸送を促進できることがわかった。その中間の $b/h_1=0.6$ では流入内部Froude数 F_0 に対する依存性が認められ、 F_0 が大きな場合は設置深さが大きい場合と同様な効果が認められた。また、図5から明らかなように、この場合の上層の補償流の大きさ $\gamma_f(=q_e/q_0)$ は b/h_1 で変化し、 γ_f が膜を設置しない場合の初期混合率 γ よりも小さな値を取ることににより、遮蔽膜の設置深さを潜入点下流側の上層水深と同じ程度にした場合が、潜入密度流による赤潮物質の集積域への集中を阻止するとともに、下層密度流による下流への輸送を促進する上で有効であることが明らかとなった。

4. 結論

遮蔽膜を潜入点下流側の上層水深と同じ程度の設置深さにした場合に、潜入密度流による赤潮物質の集積域への集中を阻止するとともに、下層密度流による下流への輸送を促進する上で有効であることが明らかとなった。今後は、より幅広い条件下で検討を重ねる必要がある。

参考文献：1)秋山 壽一郎：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、流入型密度流の水力特性とその予測、pp.69-167、土木学会、水理委員会、環境水理部会、2000。

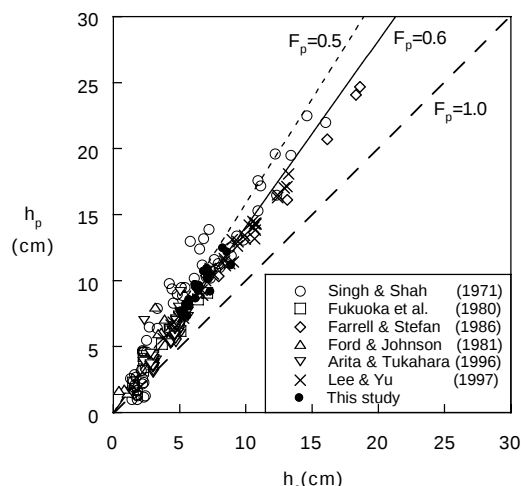


図2 潜入水深 h_p と限界水深 h_c との関係

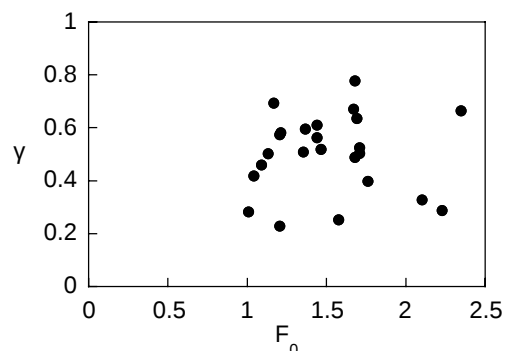


図3 初期混合率 γ と流入内部Froude数 F_0 との関係

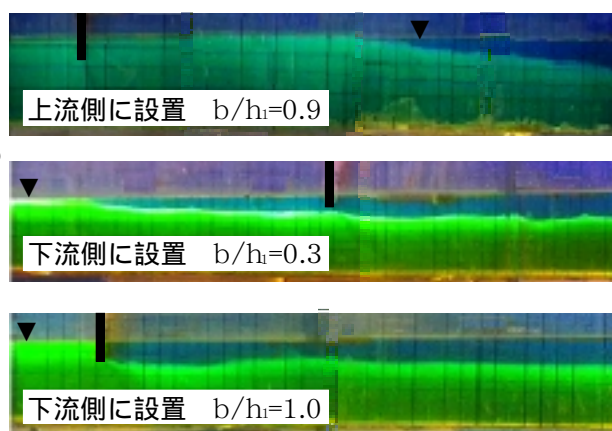


図4 遮蔽膜の設置深さ b/h_1 と流況
(図中の▼は膜のない状態での潜入点位置を示す)

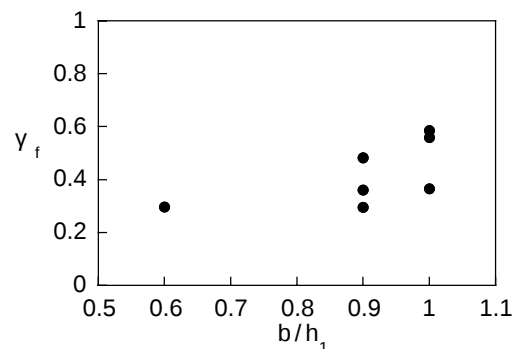


図5 補償流の大きさ γ_f と設置深さ b/h_1 との関係