

遮蔽幕による潜入密度流の制御

九州工業大学工学部 学生員 ○西 恭太
 九州工業大学大学院 学生員 山下 直樹
 九州工業大学工学部 正会員 秋山 壽一郎・フキスクマルジヤ

1. はじめに

淡水赤潮は、貯水池上流端によく見られ、そこでの水質は流入および流出水の影響を強く受ける。従って、補償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、放流等で池内のプランクトン総量を減らすことが、淡水赤潮を抑制するための基本対策である。具体的な池内対策として遮蔽幕の設置があるが、その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、このような背景を踏まえ、混合型貯水池における潜入密度流現象と遮蔽幕の設置状態との関係について検討を加えたものである。

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5.0cmと1/30の一定値に保たれている。実験は、幕が設置されていない(CASE A)と設置された(CASE B)について行った。CASE B-1は遮蔽幕を潜入点の上流側に、CASE B-2は遮蔽幕を下流側に設置した場合である。実験条件としては、CASE Aでは相対密度差 ϵ_0 と単位幅流量 q_0 を各々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、遮蔽幕を潜入点の上流側と下流側に潜入点から2、あるいは $5h_p$ の位置に設置した。定義図と重要な諸量を図1に示す。実験方法としては、レーザースリット光で p 可視化した潜入点近傍の流況をデジタルVTRに収録し、その画像をコンピューター解析することで、潜入水深 h_p および界面形状を求めた。単位幅当たりの総連行量 q_e は、サーマル式微流速計と導電率計を用い、CASE Aでは潜入点から $30h_p$ の地点での下層密度流の流速と塩分濃度分布を計測し、それぞれの分布を積分することで求めた。一方、CASE Bでは遮蔽幕近傍の流況を撮影するとともに、導電率計を用いて幕が設置されていない状態での潜入点から $30h_p$ 下流の断面での下層密度流の塩分濃度分布を求め、そこでの補償流の大きさ q_{ef} の算定を行った。

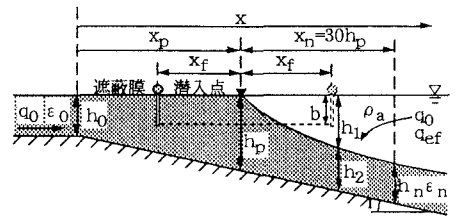


図1 流れの定義図と重要な諸量

3. 実験結果

[潜入密度流の特性(CASE A)]: 遮蔽幕の設置に当たり、幕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、潜入密度流領域での周囲水の潜入密度流への単位幅当たりの総連行量 q_e で、等幅矩形断面水路では 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($= (q_0^2 / \epsilon_0 g h_p^3)^{1/2}$)、 h_c =内部限界水深($= (q_0^2 / \epsilon_0 g)^{1/3}$)および g =重力加速度である。潜入密度流に関するこれまでの実験研究で得られた知見を総括すると、 F_p 値は水路床勾配 I が $I > 1/10$ のような大きい場合を除け

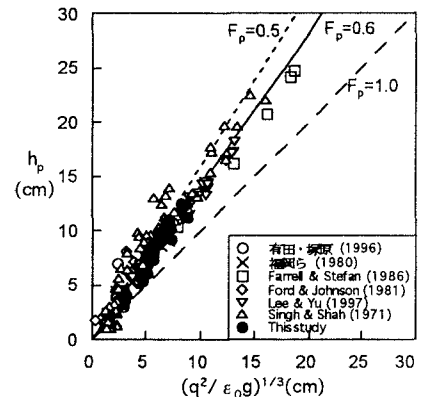


図2 潜入水深と内部限界水深との関係

ば、平均的には $F_p \approx 0.56$ 程度の値を取り、 γ は0~約2.0の範囲で散らばることが知られている¹⁾。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、その平均値($F_p \approx 0.57$)は既往の結果と一致する。なお、下層密度流の内部Froude数 F_n は、 $F_n \approx 1.23$ となり、 $I=1/30$ は内部的な急勾配であると判断される。図3は、 γ と流入内部Froude数 F_0 との関係を調べたものである。これより γ は、 F_0 に依存せず、約0.17の一定値を取ることがわかる。

[遮蔽幕の設置効果(CASE B)]：図4は、遮蔽幕の設置深さ b/h_1 を0.3、0.6、0.9及び1.0に変化させ、 b/h_1 の違いに対する流況変化を示した。これより、CASE B-1では、 $x_f/h_p=2$ の場合は $b/h_1=0.3$ と0.6のときに幕の設置点から潜入するようになるが、水深がより大きい水域に潜入せず、それら以外の b/h_1 では、 $x_f/h_p=2$ と5のいずれにおいても最終的には幕がない状況での潜入点近傍で潜入し、CASE B-1では、その設置効果が全く認められない。また、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事が認められた。すなわち、設置深さが小さい場合($b/h_1=0.3$)は幕の設置効果が認められないが、大きい場合($b/h_1=0.9$ 及び1.0)はより水深が大きい水域に潜入させる事が可能となり、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 が大きい場合は、設置深さが大きい場合と同様な効果がある。なお、このような傾向は $x_f/h_p=2$ 、5のいずれも同様であった。図5は、CASE B-2で $b/h_1 \geq 0.9$ のときの上層の混合率 γ_f と b/h_1 について調べたものである。これより、図3の γ の値とを比較すると、同一の F_0 に対して γ_f の方が小さくなっていることから、幕を設置した方が潜入時の補償流が小さくなり、赤潮物質の集積域への集中を低減できることがわかる。

4. 結論

(1) 潜入点でのFroude数 F_p は、平均的には、0.56程度の値を取る。また、初期混合率 γ は $\gamma \approx 0.17$ のような一定値を取る。

(2) 遮蔽幕を潜入点下流側に設置するとともに、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低減させ、下層密度流による流入物質の輸送促進を図ることができる。

参考文献：1) 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(pp.69-167),土木学会水利委員会、環境水利部会、2000。

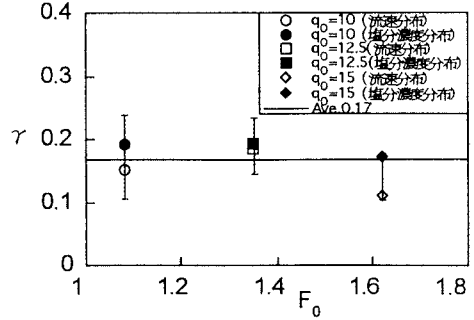


図3 初期混合率 γ と流入内部Froude数 F_0 との関係

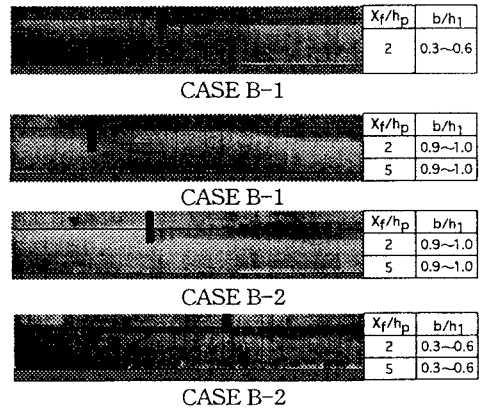


図4 遮蔽幕の設置深さ b/h_1 と流況 (図中の \blacktriangledown は幕のない状態での潜入点を示す)

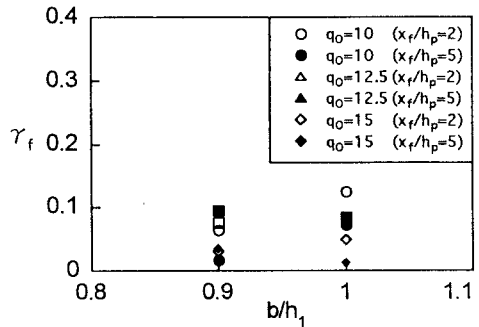


図5 補償流の大きさ γ_f と設置深さ b/h_1 との関係