

潜入密度流の流動特性を考慮した効果的な濁水排除のためのバツフルウォールの設置条件

1. はじめに

ダム貯水池に流入した濁水は、その負の浮力のために池水に潜り込み、潜入密度流を形成する。池水に潜入した濁水は、成層型貯水池では中層密度流として躍層に沿って貫入し、濁水長期化現象をもたらす。混合型貯水池では底面に沿って下層流として流下し、ダム付近にウォッシュロードが堆砂するため、ダム機能の低下につながる。また、濁質に吸着した栄養塩が蓄積され、底質が長期にわたって貧酸素状態に置かれるとへドロ化し、排砂時に下流や沿岸域の水質の悪化をもたらす場合がある。そのため、流入する濁質や栄養塩類を池内に滞留させることなく、濁質の捕捉率を下げ、適切な方法により速やかに池外へと放流することが、池水の水質とダム機能の保全を図る上での基本となる。

貯水池の水質保全対策として「流動制御法」と呼ばれる方法がある。この一つである「選択放流」はダム堆砂の原因となる高濃度のウォッシュロードを池外に放流することになるので、水質保全対策としてだけでなく、ダム機能保全対策としても有効である。しかし、全てのダムに「選択放流設備」が備えられているわけではない。選択放流設備を持たない小型の重力式ダムでは、その対策として、ダムの洪水吐き前面にバツフルウォール（以下、ウォールと呼ぶ）を設置する方法が考えられる。本研究は、流入濁水の排除と池内の清水保全を目的としたウォールの効果的な設置条件について実験的に検討したものである。

2. 実験

実験概要

実験装置は、貯水池を模したアクリル製の水路(長さ 7.6m, 深さ 0.4m, 幅 0.1m)であり、水路床勾配 $I=1/60$ である。下流端には越流堰を設置し、自然越流させることで、貯水池の水深を一定に保っている。また、越流水の塩水濃度を計測するために、越流堰後方にアクリル製の箱を設け、塩水濃度の計測が可能となっている。実験装置の概略図を図-1 に示す。

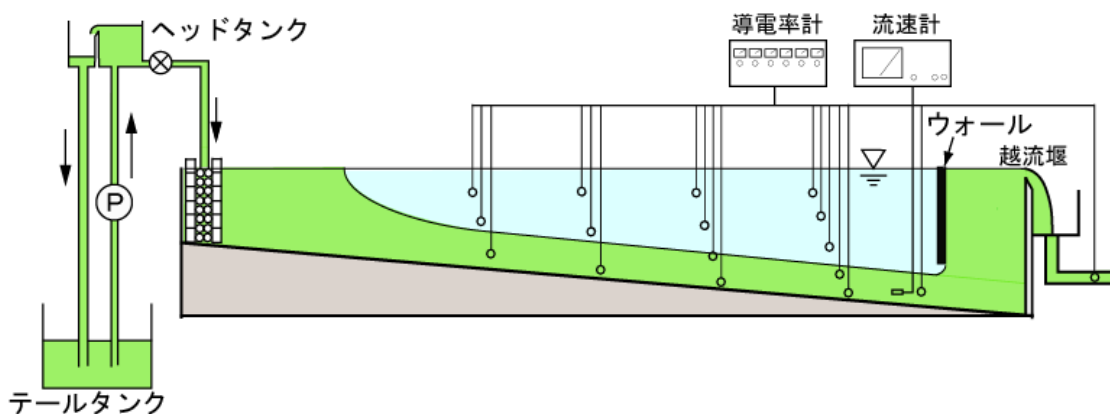


図-1 実験装置の概略図

実験方法および実験条件

水槽中に水深 $h=17.2\text{cm}$ まで淡水(密度 ρ_1)を貯留した後に、流入部からウランで着色した塩水(密度 ρ_0 , 単位幅流量 q_0)を流入させ、自然な潜り込み状態での潜入密度流を発生させた。下流端は越流堰(高さ $h_c=16.7\text{cm}$)となっており、貯水池上流端からの流入流量に対して、同一流量が越流堰より自然越流するようになっている。

実験は、越流堰から自然越流させた場合(CASE A), ウォールの設置深さをウォールが設置されていない状態での界面位置(設置深さ $z_w/h_u=1.00$)とし、設置位置($L-x_w$)/ h_c を4通りに変化させて設置した場合(CASE B), CASE B で最もウォールの設置効果が大きいと認められたウォール設置位置($L-x_w$)/ $h_c=0.83$ において、ウォールの設置深さ z_w/h_u を3通りに変化させた場合(CASE C)を実施した。なお、全てのCASEにおいて、単位幅流入流量

$q_0=8.0\text{cm}^2/\text{s}$, 流入水深 $h_0=5.0\text{cm}$, 流入相対密度差 $\varepsilon_0=0.0007$ とした. 流れの定義図ならびに導電率計の設置断面と設置状況を図-2 に示し, 実験条件を表-1 に, 重要なパラメータを表-2 に示す.

測定項目は以下の通りである.

- 1) 流入開始から 24 時間経過するまでの貯水池全体の流動状況をビデオカメラで撮影し, その映像をパソコンに取り込み画像解析することで, 全体的な流況を把握した
- 2) 水路縦断方向の断面 1~4(図-2 参照)において, 水深方向の 3~5 点および越流堰からの排水装置にそれぞれ導電率計のプローブを設置し, 各測点での密度の経時変化を測定した.
- 3) ウォール設置位置の上流側で流速と密度の鉛直分布をそれぞれサーマル式微流速計と導電率計で測定した.

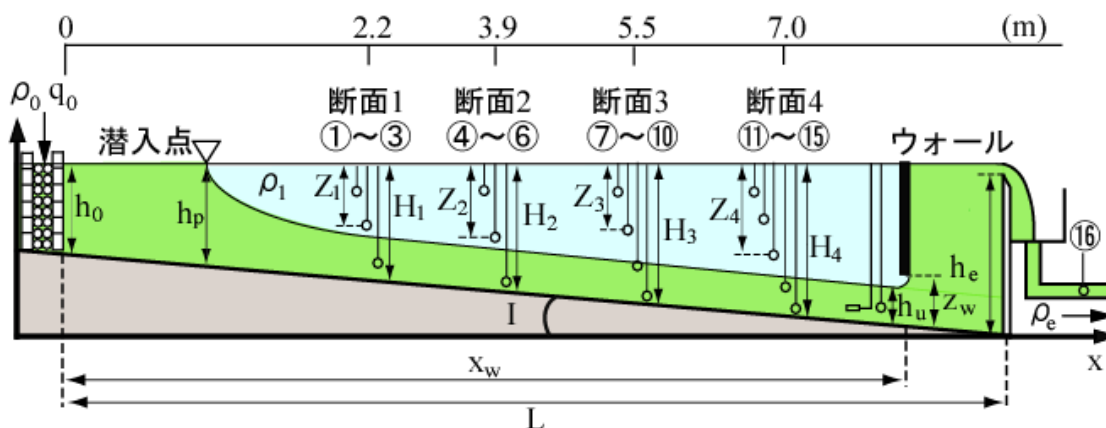


図-2 流れの定義図ならびに計測器の設置状況

表-1 実験条件表

CASE	I	h_0 (cm)	ε_0	q_0 (cm^2/s)	F_0	h_c (cm)	$(L-x_w)/h_c$	z_w/h_u	
A	1/60	5.0	0.0007	8.0	0.86	4.54	-	-	
B-1							1.00	1.00	
B-2							0.83		
B-3							0.66		
B-4				0.33					
C-1				1.00					
C-2				0.90	8.0	0.86	4.54	0.83	
C-3				0.75					

表-2 重要なパラメータ

I	:水路床勾配
g	:重力加速度
h_u	:ウォール設置位置での層厚
$H_{1\sim 4}$:断面 1~4 での全水深
x_w	:ウォールの設置位置
L	:流入点から越流堰までの距離
z_w	:ウォールの設置水深
$Z_{1\sim 4}$:断面 1~4 での導電率計プローブの設置水深
ε_0	:流入水の相対密度差($=(\rho_0-\rho_1)/\rho_1$)

3. 結果と考察

ウォールの設置位置の検討

図-3 は, CASE A および CASE B における越流水の相対密度差 $\varepsilon_c(=(\rho_c-\rho_1)/\rho_1)$ と ε_0 との比 $\varepsilon_c/\varepsilon_0$ の時系列を示したものである. ここで, $t_0(=$ 貯水池の全容量/流入流量)は総入れ替え時間である. これより, $\varepsilon_c/\varepsilon_0$ は CASE B の方が, CASE A より早く 1 に漸近しており, ウォールの設置により流入水が効果的に排除されていることがわかる.

図-4 は, CASE A および CASE B における h_p/h_c の時系列を示したものである. 図中の実線は, 定常状態での h_p/h_c 値($=1.6$)である. いずれの CASE でも h_p/h_c は流入開始から増加した後には微増あるいはほぼ一定となり, 再度急増している. このような挙動を取る理由は, 次のように考えられる. (1)流入開始後は, 流入水が先端部を有する非定常状態の

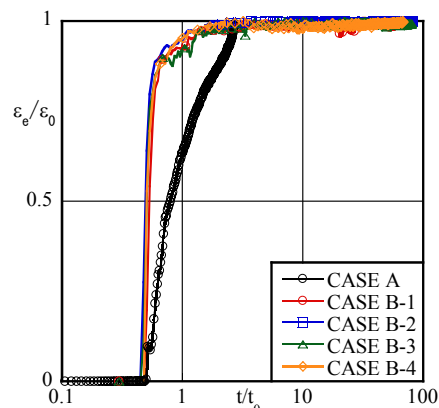


図-3 越流水の相対密度差の時系列(CASE B)

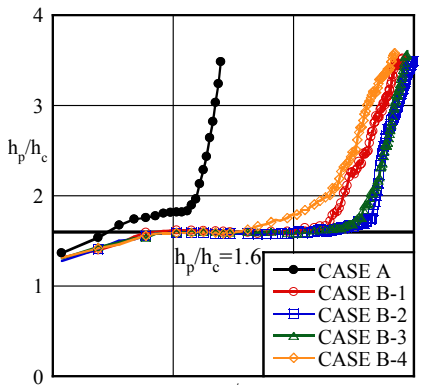


図-4 h_p/h_c の時系列(CASE B)

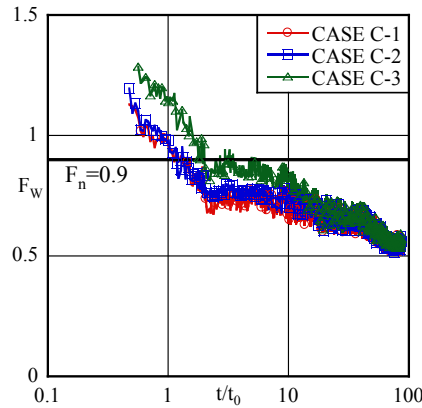


図-5 F_w の時系列

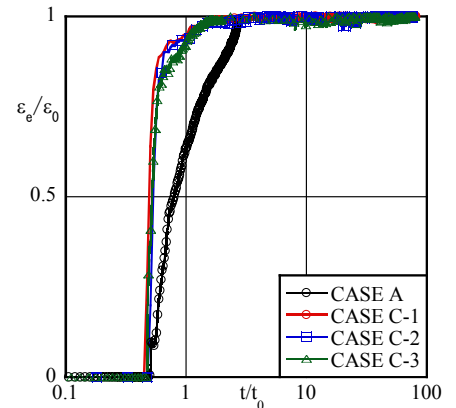


図-6 越流水の相対密度差の時系列(CASE C)

重力密度流として流下するため、平衡状態に向かって増加する。(2)潜入点が平衡状態に近づくにしたがって、流入条件や水路勾配の影響が弱くなり、 $h_p/h_c=1.6$ に漸近していく。(3)下流端で上昇した層厚が上流へと伝播し、潜入点へ到達することで、擬似平衡状態にある潜入点が下流端へ移動し、再度急増する。両 CASE を比較すると、CASE B では潜入点が長時間安定している。これは、ウォールの設置により、流入水が希釈を抑制され、池外へと排水されるためである。

以上より、ウォールの設置位置としては、ダム堤体の $4/6 \sim 5/6$ 倍程度 ($(L-x_w)/h_c=0.66 \sim 0.83$) とすることで、大きな設置効果が得られることがわかる。

ウォールの設置深さの検討

図-5 は、CASE C におけるウォールの直上流点での流速および密度の分布より得られた内部 Froude 数 F_w の時系列を示したものである。図中の実線は、 $I=1/60$ における定常状態での F_n 値($=0.9$)を示している。いずれ設置深さでも F_w は下流端到達直後から急減した後に微減あるいはほぼ一定となり、再度急減している。このような挙動を取る理由は、次のように考えられる。(1)下流端到達直後は、ウォール下端での層厚上昇が急激であるため、急減する。(2)層厚がウォール下端に到達し、層厚上昇が緩やかになるため、ほぼ一定あるいは微減する。(3)下流端の層厚の上昇が潜入点に伝播するため、再度急減する。

図-6 は CASE A と CASE C における越流水の相対密度差の時系列を、図-7 は CASE C におけるウォール直上流での混合率 $\gamma(=\epsilon_0/\epsilon_w-1)$ の時系列をそれぞれ示したものである。 γ は、いずれの設置深さにおいても下流端到達直後から急減した後にほぼ一定をとっている。また、両図より CASE C の方が流入水の池水による希釈が抑制されており、設置深さを界面位置とした場合に抑制効果が最も大きいことがわかる。

図-8 は、CASE C における h_p/h_c の時系列を示したものである。これより、 h_p/h_c は設置深さに大きく依存しないことがわかる。

4. おわりに

ダムの洪水吐き前面にウォールを設置することで、流入水を速やかに池外へ排除できる。また、ダム下流端での下層流の層厚の増加が抑制されるため、密度流が定常状態に近い状態に維持され、潜入点も安定化される。その結果、貯水池内の清水域が保全される。これによって、流入水が池水と希釈混合し、池内全体に速やかに

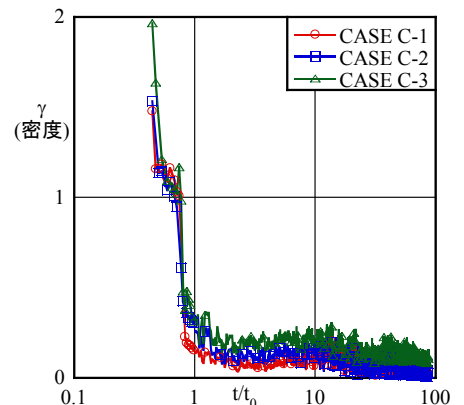


図-7 混合率 γ の時系列

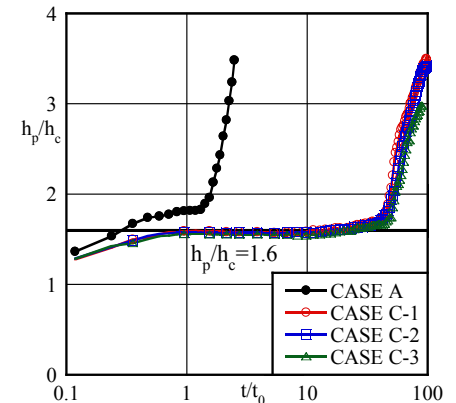


図-8 h_p/h_c の時系列(CASE C)

拡散する状態にあったものが、ウォールの設置により、ダム底部に設けられた放流施設から流入水を安定的に排水しているような状態に導く効果が期待できる。

ウォールの設置位置としては、位置を $(L-x_w)/h_c=0.83$ 程度に設定すればよいと考えられる。

ウォールの設置深さとしては、深く設置することでウォールの直上流点での内部 Froude 数 F_w が定常状態での下層密度流の内部 Froude 数 F_n の値に近づき、定常状態に近い流れとなっていると考えられるが、深く設置することによって池水との希釈混合が大きくなり、設置効果は決して高いとは言えない。また、実水域における水位や流入流量の変動を勘案すれば、ウォール下端を界面位置程度に設定しておくことが適当であると考えられる。

論文リスト

- 1) 秋山壽一郎, 重枝未玲, 安藤祐馬, 小野修平: ダム前面に設置したウォールによる流入濁水の排除効果, 水工学論文集, 第 51 巻, pp.1337-1342, 2007
- 2) 秋山壽一郎, 重枝未玲, 安藤祐馬, 小野修平, 小川真由子: フェンスによる貯水池潜密度流の流動制御, 水工学論文集, 第 50 巻, pp.1285-1290, 2006.
- 3) 秋山壽一郎, 土居正明, 安藤祐馬: 成層型貯水池における潜密度流と内部跳水について, 水工学論文集, 第 49 巻, pp.1153-1158, 2005.
- 4) 秋山壽一郎, 片山哲幸, 西 恭太, 土居正明: 混合型・成層型貯水池での潜密度流の水理特性について, 水工学論文集, 第 48 巻, pp.1375-1380, 2004.
- 5) 秋山壽一郎, 西 恭太, 浦 勝: 潜密度流の流動特性とフェンス工による流動制御, 水工学論文集, 第 47 巻, pp.1177-1282, 2003.
- 6) 秋山壽一郎, アキレス クマール ジャ, 山下直樹, 浦 勝: ダム貯水池上流端での富栄養化対策を目的とした遮蔽幕による潜密度流の制御, 水工学論文集, 第 46 巻, pp.1013-1018, 2002.