

常用洪水吐き前面に設置されたウォールによる流動制御と流入濁水の排除効果

九州工業大学工学部 学生会員 廣田 豊
九州工業大学大学院 正会員 重枝 未玲

九州工業大学大学院 フェロー会員 秋山壽一郎
九州工業大学大学院 学生会員 栢木 伸幸

1. はじめに

ダム貯水池の水質保全と底部堆積層の除去を目的とした、バツフルウォール(以下「ウォール」という)の濁水排除効果と、これに貯水池上流側にフェンスを併置した場合の影響について模型実験に基づき検討を加えた。

2. 実験

実験装置は 貯水池を模したアクリル製水路(長さ 7.6m 深さ 0.4m 幅 0.1m)を大型水槽(長さ 10m, 深さ 1.2m, 幅 0.6m)中に設置したものである。水路勾配 I は, $1/60$ の緩勾配とし¹⁾, また, 流入水の相対密度 $\epsilon_0 = (\rho_0 - \rho_a) / \rho_a = 0.0007$, 流入水深 $h_0 = 5.0\text{cm}$, 下流端の越流堰の高さ $T = 16.7\text{cm}$ とした。

実験 CASE は, ウォール無設置の CASE N, ウォールの設置距離 x_w/T と設置深さ z_w/h_u を変化させた CASE W, ウォールに加え, 貯水池上流側にフェンスを設置した CASE WF である。ここで, z_w はウォールの開き, h_u は自然な潜り込み状態におけるウォール設置位置での流動層厚である。図-1 に実験装置と計測断面, 表-1 に実験条件を示す。

測定項目は, デジタルビデオカメラによる側面からの流況観察, 導電率計による水路縦断方向の断面 1~4 での密度の鉛直分布, サーマル式微流速計と導電率計によるウォール直上流での流速と密度の鉛直分布, 流量計測と導電率計による流出水の流量 q_c と密度 ρ_c の計測である。

3. 実験結果と考察

図-2 は, 流況の観察結果と池水全体の相対密度差の空間分布の計測結果の一例を示したものである。図中の t/t_0 は無次元経過時間である。ここで, t_0 は総入れ替え時間(=貯水池の全容量/流入流量)である。これより次のことが確認できる。ウォールやフェンスの有無にかかわらず, t/t_0 の増加とともに, 流入水が池内に滞留・拡散し, 池水と流入水が入れ替わる。ウォール設置により, 流入水が速やかに池外へ排除され, 長時間にわたって池水の清水域が保全される。フェンス設置では, 基本的にウォール設置と同様であるが, フェンスの設置深さによって流入水の遮蔽効果が異なってくるなどの理由のため, 流動状況が変化する。

図-3 と図-4 は, それぞれ流出水の相対密度差 $\epsilon_c = (\rho_c - \rho_a) / \rho_a$ と ϵ_0 の比 ϵ_c/ϵ_0 と, ウォール直上流での流入水の希釈混合率 $\gamma (= \epsilon_0/\epsilon_w - 1)$ の時系列を示したものである。これより次のことがわかる。ウォールの設置により, 流入水が速やかに池外へ排除できる。ウォールの設置位置 x_w/T は, $x_w/T = 0.42 \sim 0.84$ であれば流入水の排除効率に大きな違いはない。ウォールの設置深さ z_w/h_u は, $z_w/h_u = 1.0$ の方が排除効率が高い。基準となる $z_w/h_u = 1.0$ では, ウォール設置の場合と比較して, フェンスを併置することで流入水と池水の希釈混合が更に抑制され, 流入水の排除も同等か若干向上する。

図-5 は, 潜入水深 h_p と流入条件に基づく内部限界水深 $h_c = (q_0^2/\epsilon_0 g)^{1/3}$ との比 h_p/h_c の時系列を示したものであ

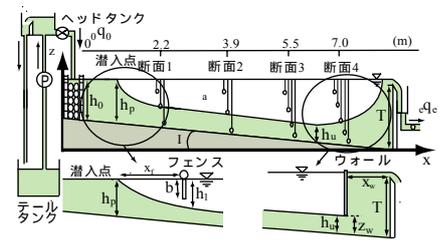


図-1 実験装置と重要な諸量

表-1 実験条件

CASE	I	ϵ_0	q_0 (cm^2/s)	F_0	x_w/T	z_w/h_u	x_f/h_p	b/h_1		
N-1	1/60	0.0007	6.5	0.70	0.84	1.00	10.0	1.0		
N-2			8	0.86						
N-3			10	1.08						
W-A-1	1/60	0.0007	6.5	0.70	0.84	1.50	10.0	1.0		
W-A-2						1.25				
W-A-3						1.00				
W-A-4						0.75				
W-A-5						0.50				
W-B-1	1/60	0.0007	6.5	0.70	0.42	1.50	10.0	1.0		
W-B-2						1.25				
W-B-3						1.00				
W-B-4						0.75				
W-B-5						0.50				
WF-A-1	1/60	0.0007	6.5	0.70	0.84	1.00	10.0	1.0		
WF-A-2									8	0.86
WF-A-3									10	1.08
WF-B-1	1/60	0.0007	6.5	0.70	0.84	1.00	10.0	0.5		
WF-B-2									8	0.86
WF-B-3									10	1.08

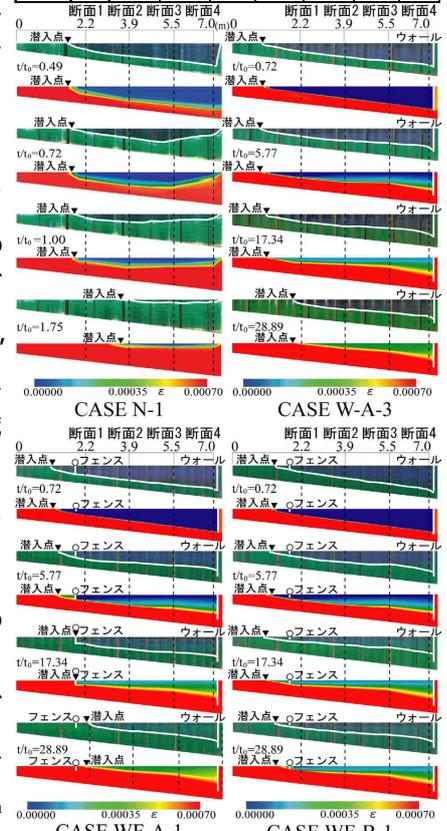


図-2 流況と相対密度差の空間分布

る．図中の $h_p/h_c=1.6$ の破線は，平衡状態の潜入密度流の値¹⁾である．これより次のことがわかる． h_p/h_c 1.6 となる継続時間は，CASE Nを基準とすると，CASE W-Aでは約23倍，CASE W-Bでは約14倍，CASE WF-Aでは約20倍，CASE WF-Bで約29倍になる．

h_p/h_c がこのような挙動を取る理由は，次のように考えられる．

h_p/h_c が微増している時間帯では，流入水が先端部を有する非定常重力密度流として流下している． h_p/h_c がほぼ一定値を取る時間帯は，平衡状態の潜入密度流とほぼ同様な流動状態となっている．ウォール設置では，底層放流に近い流動状態となっているために，平衡状態の潜入密度流に近い状態が長時間維持される．フェンスを界面位置に設置した場合，潜入点がフェンスに向かって移動している時間帯は h_p/h_c は上昇し，その後一定時間流入水がフェンス上流側で止められるため h_p/h_c は一定値をとる．その後，流入水の一部がフェンス背面で拡散・滞留し，フェンスの遮蔽効果が失われる．一方，界面上方に設置した場合，層厚上昇の影響が水表面に及ぶまでは，ウォール単体と同様な状態となり，その後は界面位置と同様な挙動を示す．

図-6，図-7 はそれぞれ，ウォールの直上流断面での内部 Froude 数 $F_w(=(q_w^2/\epsilon_w g h_w^3)^{1/2})$ と h_c/z_w の時系列を示したものである．ここで， h_c はウォールの直上流断面での内部限界水深 $(=(q_w^2/\epsilon_w g)^{1/3})$ である． h_c/z_w と F_w との間には， $h_c/z_w=F_w^{2/3}$ なる関係がある．これから明らかなように，CASE W と WF を比較すると，WFの方が γ と F_w が小さくなっている．潜入密度流では池水に潜り込む時に初期混合^{1),2)}が発生し，潜入点下流域の池水が補償流として潜入点に向かってゆっくりと流動する．フェンスがこの補償流を遮断する働きをしているために，水表面付近での初期混合が抑制され， γ と F_w が小さくなっていると考えられる．CASE W および CASE WF では， $z_w/h_u=1.00$ で z_w/h_c 1.0 となっている．なお， $F=1/60$ は限界勾配に近い緩勾配であるので， h_u は h_c に概ね対応する．

4. 結論

本研究により以下のような知見が得られた．ウォール設置により，池内清水の流出を抑制するとともに，流入濁水を速やかに池外へ排除できる．同時にダム下流端での層厚増加も抑制され，池水の清水域も長時間保全できる．ウォールの設置位置としてはダム堤体高さ～その半分程度であれば，排除効率に大きな違いは生じない．また，設置深さは，界面～界面上方がより効果的である．フェンス併置では，流入水の排除効率はウォール単体の場合と大きな違いはない．しかし，清水域の保全に関しては，フェンスの遮蔽効果が失われるまでの時間，ウォール直上流付近の層厚上昇が水表面に及んでくるまでの時間などが，フェンスの設置条件に応じて変化するので，これら複合的な流動拡散現象が池水の水質と清水域の保全に悪影響を及ぼす可能性がある．このため，富栄養化対策等の必要性がない場合は，フェンスは設けないほうがよい．

参考文献:1) 秋山壽一郎:混合型・成層型貯水地での潜入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. 2) 秋山壽一郎:流入型密度流の水理特性とその予測,土木学会水理委員会,環境水理部会,pp.69-167, 2000.

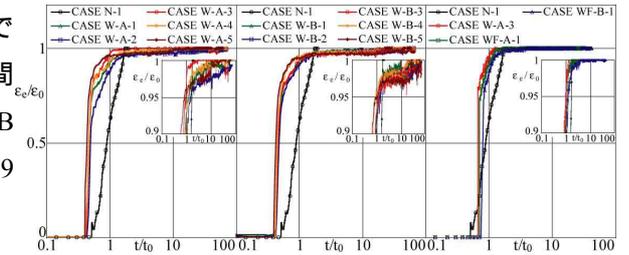


図-3 流出水の相対密度差の時系列

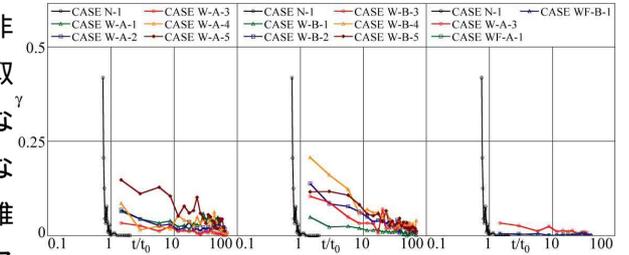


図-4 ウォール直上流での γ の時系列

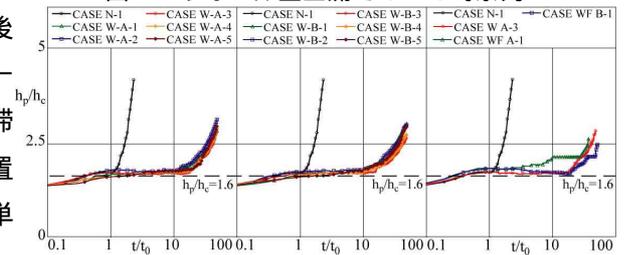


図-5 h_p/h_c の時系列

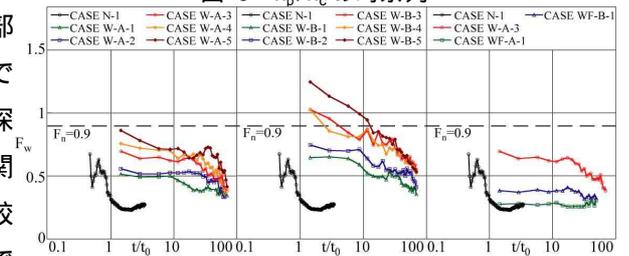


図-6 ウォール直上流での F_w の時系列

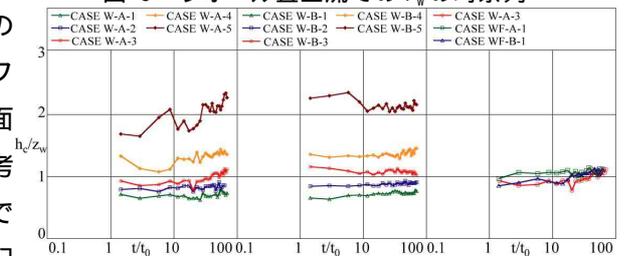


図-7 ウォール直上流での h_c/z_w の時系列