

ダム洪水吐き上流側に設置したウォールによる流入濁水の排除に関する実験的研究

九州工業大学工学部 学生会員 ○佐藤 亜彦
九州工業大学工学部 正会員 重枝 未玲

九州工業大学工学部 フェロー会員 秋山 壽一郎
九州工業大学大学院 学生会員 安藤 祐馬、小野 修平

1. はじめに

ダム貯水池に流入した濁水は、ダム水質問題や堆砂の問題に密接に関連している。本研究は、流入濁水の排除と池内の清水保全の立場から、ダム洪水吐き上流側にウォールを設置した場合に、池水の全体的な流動現象にどのような影響を及ぼし、またどのように設置すれば流入濁水を効果的に排除できるかを室内実験に基づき検討したものである。

2. 実験

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)である。水路床勾配 $I=1/60$ 、流入相対密度差 $\varepsilon_0=(\rho_0-\rho_a)/\rho_a=0.0007$ 、流入水深 $h_0=5.0\text{cm}$ 、下流端の越流堰の高さ $h_e=16.7\text{cm}$ とし、越流堰から自然越流させた場合(CASE A)と越流堰の上流側にウォールを設置した場合(CASE B)を実施した。ウォールの設置位置 x_w は、越流堰の設置位置での水深と同じ距離だけ上流側に離れた位置とした。流入内部 Froude 数 $F_0=(q_0/(\varepsilon_0 g h_0^3)^{1/2})$ と、ウォールの設置深さ z_w を変化させ実験を行った。図-1 に実験装置と計測断面、表-1 に実験条件を示す。図表中の g =重力加速度、 ρ_0 =流入水密度、 ρ_a =周囲水密度、 h_p =潜入水深、 h_u =CASE A の上層水深、 $H_{1\sim4}$ =断面 1~4 の全水深、 z_w =ウォールの設置位置、 $Z_{1\sim4}$ =導電率計プローブの設置水深である。測定および解析方法は、以下の通りである。(1)流動状況を撮影し、PC に取り込み全体的な流況を把握した。(2)各断面について導電率計を 3~5 点設置し、各測点と越流水の相対密度差を求めた。(3)流入水が越流堰に到達したときのウォール位置の流速と密度の鉛直分布を測定した。(4)CASE A では下層流が越流堰天端に達した時刻での流速と密度の鉛直分布を測定した。

3. 実験結果

図-2 に、CASE A において流入密度流の先端が越流堰天端に到達した時刻での、ウォール設置位置における流速と相対密度差の鉛直分布を示す。画像解析に基づけば、流入密度流が越流堰天端に到達するまでの無次元到達時間は、それぞれの流量で $t_0=0.43$ 、 0.49 および 0.54 であった。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。両分布に基づき、ウォール設置位置での内部 Froude 数 F_w の算定を行うと、CASE A-1、CASE A-2 および CASE A-3 でそれぞれ、 $F_w=0.98$ 、 0.88 および 0.85 であった。 $I=1/60$ では流動層の内部 Froude 数は 0.90 程度の値を取ることがわかっており¹⁾、 $I=1/60$ が緩勾配であることが確認できる。図-3 に、各 F_0 における越流水の無次元相対密度差 $\varepsilon/\varepsilon_0$ の時系列の一例を示す。いずれの F_0 においても同様な結果が得られたので、ここでは $F_0=0.86$ について示す。これより、CASE B は CASE A に比して $1.2\sim1.8$ 倍程早く流入水が排水され、ウォールの設置深さが排水された相対密度差に及ぼす影響は僅かである。次に、CASE A において、図-3 で示した流入開始から $\varepsilon_c=\varepsilon_0$ となる時刻 t_0 までの無次元水深 h_p/h_c とウォール設置地点での無次元水深 h_w/h_c の時系列を併せたものを、図-4 に示す。ここで、 h_c は流入条件に基づく内部限界水深を示す。図-4 から、次のことがわかる。CASE A では、(1) h_p/h_c の流入開始後の急増は、流入水が先端部を有する非定常状態の重力密度流として流下しているためである。(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、 $h_p/h_c=1.55$ ($h_p/h_c=F_p^{-2/3}$ の関係より $F_p=0.52$) に漸近していく¹⁾。(3)潜入点が再度急増する時刻は、画像解析から貯水池下流端で上昇した流動層厚が潜入点に到達する時刻とほぼ一致している。一方、CASE B では、(1) h_p/h_c は流入開始後の急増後

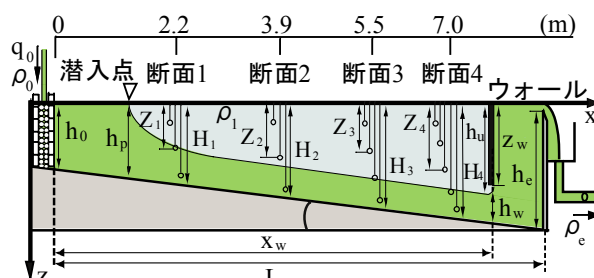


図-1 実験装置と計測断面

表-1 実験条件

CASE	$q_0(\text{cm}^2/\text{s})$	F_0	$h_c(\text{cm})$	$h_u(\text{cm})$	z_w/h_u
A-1	6.5	0.70	3.95	12.0	-
A-2	8.0	0.86	4.54	11.6	-
A-3	10.0	1.08	5.26	11.4	-
B-1-1	6.5	0.70	3.95	-	0.87
B-1-2				-	1.00
B-1-3				-	1.13
B-2-1	8.0	0.86	4.54	-	0.87
B-2-2				-	1.00
B-2-3				-	1.13
B-3-1	10.0	1.08	5.26	-	0.87
B-3-2				-	1.00
B-3-3				-	1.13

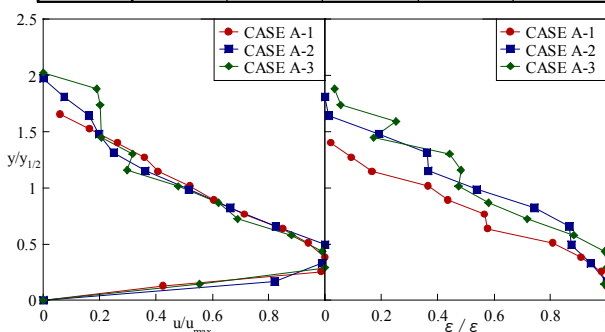


図-2 流速(左)と相対密度差(右)の鉛直分布(CASE A)

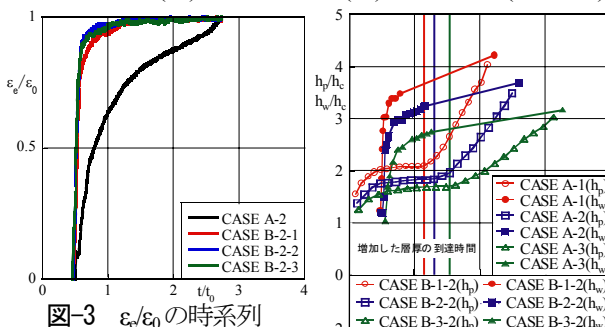


図-3 $\varepsilon_c/\varepsilon_0$ の時系列

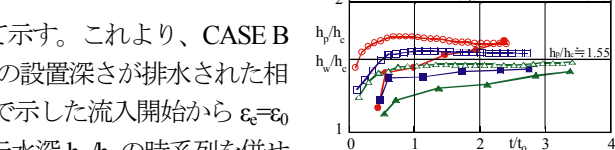


図-4 h_p/h_c と h_w/h_c の時系列 ((上)CASE A(下)CASE B)

下流端で上昇した流動層厚が潜入点に到達する時刻とほぼ一致している。一方、CASE B では、(1) h_p/h_c は流入開始後の急増後

はほぼ一定値をとり、その時刻は流入水が越流堰に到達した時刻とほぼ一致している。(2) CASE A と比較すると、ウォールの設置によって潜入点の移動が抑制され、急増後の潜入点の位置は安定している。(3) 紙面の都合で図は省略するが、ウォールの設置位置別に比較すると、若干、界面上方、界面、界面下方の順で流入開始後の潜入点の下流への移動が小さくなる。(4) F_0 別に見ると、 h_w/h_c は t/t_0 が増加するにつれて穏やかに増加する傾向が認められ、排水できなかった流入水の一部が徐々にウォール付近に残留していることがわかる。

図-5 に、CASE A、CASE B の潜入点の内部 Froude 数 F_p の時系列の一例を示す。図中に $I=1/60$ の平衡状態での F_p 値($=0.52$)¹⁾も併せて載せている。これより、次のことがわかる。CASE A の F_p 値は時間の経過とともに変化し、その値も平衡状態のものとは全く異なっている。CASE B では、急減した後の F_p 値は平衡状態ではないのでその値は若干異なっているが、平衡状態の値に漸近している。紙面の都合で図は省略するが、ウォールを界面位置とした場合が最も平衡状態での F_p 値¹⁾に近くなる。また、図-3～図-5 からウォールを設置することで、(1)流入水は速やかに池外に排除されること、(2)表層放流で生じる池水の流動による潜入点の下流側への移動を抑制すること、(3)下流端での層厚の上昇とその上流側への伝播が抑制され、潜入点の下流への移動が抑制され安定化し、そのとき、ウォール下端を界面位置とした場合に最も効果が得られること、(4)これらより、池水の清域が保全されること、などの機能と効用が期待できると考えられる。

図-6 に、断面 4 の相対密度差の時系列の一例を示す。各 F_0 において同様な傾向が見られたので、ここでは、 $F_0=0.86$ の結果を示した。これより、次のことがわかる。(1)CASE A では、下層流の先端が越流堰に到達直後、短時間で流入水が水表面まで広がる。(2)CASE B では、ウォール下端を界面上方に設定した場合は流入水の拡散が大きく、界面あるいは界面下方とした場合は、流入水の拡散が緩やかである。図-7 に、流況がほぼ定常状態のウォール直上流点での CASE B の相対密度差の鉛直分布の一例を示す。各 F_0 において同様な傾向が見られたので、ここでは、 $F_0=0.86$ の結果を示した。これより、ウォール下端を界面下方とした場合では、流動層の上端部がウォールによって遮られるために流動層の拡散が若干大きいことがわかる。

図-8 に、 $F_0=0.86$ の場合の CASE A と CASE B の一例としてウォール下端を界面位置に設定した場合の $t/t_0=0.49, 0.75, 1.00$ および 1.75 での相対密度差の空間分布とその時刻の画像を併せて示す。これより、次のことがわかる。(1)CASE A では、流入水の排水が困難で、池水も同時に排水されるので、流入水が下流側から徐々に池内全体に拡散していくとともに、潜入点が下流側に移動し、清水域が急速に消失していく。(2)CASE B では、流入水が速やかに池外へ排除され、また流入水が越流堰に到達した後、潜入点は安定している。このため、清水域が保全されている。紙面の都合で図は省略するが、 $F_0=0.70$ ではさほど $F_0=0.86$ と変わらないが、 $F_0=1.08$ では流入流量の増加に伴い、CASE A では清水域の消失の度合いが強くなる。CASE B では僅かながら希釈された流入水がウォール前面に溜まってくる。ゆえに、長時間経過すると CASE A のような状況に至ると推察される。また、図-6～図-8 から流入水を速やかに池外へ排除するには、ウォール下端を界面位置、界面下方、界面上方の順で効果的であると思われる。

4. 結論

本研究から、次のような結論が得られた。(1)洪水吐きの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に排除できる。

ゆえに、ダム下流端での下層流の層厚の増加も抑制され、潜入点も安定化され、池水の清水域が保全される。(2)ウォールの設置水深としては、流入水の排除効果と潜入点下流側への移動による清水域の減少効果の両者を勘案して設定する必要がある。さらに、実現象での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けばよいと思われる。

参考文献：1) 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入密度流の水利特性について，水工学論文集，第 48 巻 pp.1375-1380，2004。

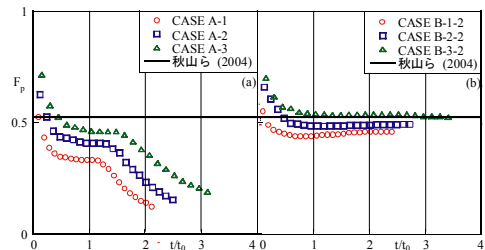


図-5 F_p 値の時系列((a)CASE A、(b)CASE B)

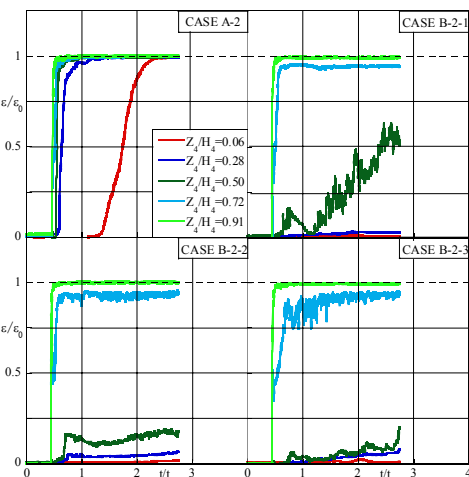


図-6 断面 4 での相対密度差の時系列

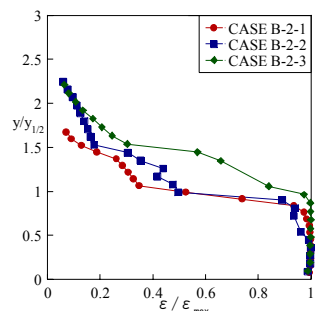


図-7 ウォール直上流点での相対密度差の鉛直分布

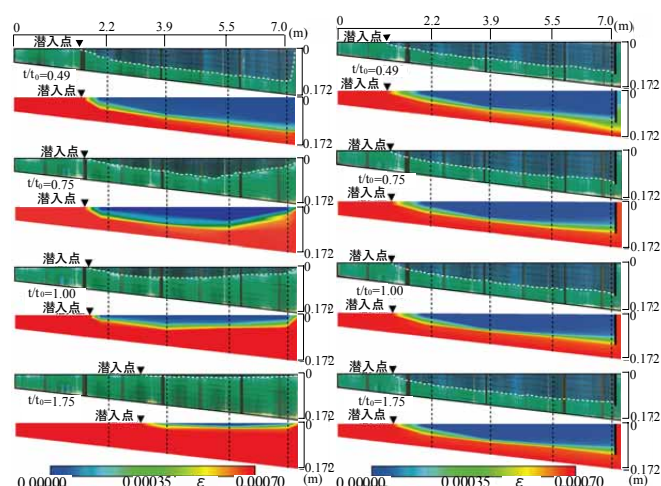


図-8 相対密度差空間分布図((左)CASE A、(右)CASE B)