

常用余水吐き前面に設置されたウォールによる密度流堆砂の低減効果

九州工業大学大学院 学生会員 ○栢木 伸幸
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 餅田 康旬

1. はじめに

ダム貯水池に流入した濁質は堤体付近に底部堆積層を形成し、ダム機能の低下と排砂時のダム下流の水質悪化を招く¹⁾。本研究は、表層放流方式の重力式ダムの常用余水吐き前面にバッフルウォール(以下「ウォール」という)を設けることで期待できる流入濁水の排除効果と密度流堆砂の抑制効果を模型実験に基づき調べたものである。

2. 実験装置と方法

実験装置は、両面ガラス張り水槽(全長 3.0m, 幅 0.5m, 深さ 0.96m)内に貯水池下流端を模したアクリル製水槽(長さ 2.0m, 幅 0.1m, 越流堰高さ $h_e=0.85\text{m}$)を水平に設置し、その上流側に流入区間(長さ 0.125m), 水槽下流端から $x_w/h_e=0.235$ の位置にウォールを設置したものである。アクリル製水槽底部にはカオリン(層厚 0.02m)が敷かれている。

流入ゲートからカオリンと真水を混合した濁水を流入内部 Froude 数 $F_0(=(q_0^2/\varepsilon_0 g h_0^3)^{1/2})$ でアクリル製水槽内に流入させ、濁水流を発生させた。その際、 q_0 の 3% 程度の周囲水(密度 ρ_a)を水槽側面から自然供給させ、擬似定常状態とした。ここで、 q_0 : 流入単位幅流量, $\varepsilon_0(=(\rho_0-\rho_a)/\rho_a)$: 流入水の相対密度差, ρ_0 : 流入水の密度である。なお、相対密度差 ε と濁度 $C(\text{ppm})$ との間には、一般に $\varepsilon=1.6C/(10^6+C)$ なる関係がある。

実験では、ウォール無設置と設置(開き z_w/h_e を 3 通りに変化)に対して F_0 を 3 通りに変化させ、サーマル式微流速計と濁度計による 3 断面($x/x_w=0.75, 5.00, 8.75$)の流速と濁度の鉛直分布および流出水(流量 q_e , 密度 ρ_e)の計測と、ビデオ撮影による流況観察を行った。なお、 q_e/q_0 は、CASE A で 1.01, CASE B で 1.02 および CASE C で 1.04 であった。実験装置と実験条件をそれぞれ図-1 と表-1 に示す。

3. 実験結果および考察

流況観察より次のことが確認された。(1)ウォール無設置では短時間で池水全域に濁りが拡散し、設置ではウォール内から濁水が速やかに排出されること、(2) F_0 と z_w/h_e の組合せ次第で流入ゲート直下からウォール設置位置までの区間(以下「流動区間」という)において異なった流況を呈し、CASE A, B-2, B-3 および CASE C では、時空間的に安定した濁りの層となり(流況 I), CASE B-1, C-1 および C-2 では、時間の経過とともに徐々に濁りの層が上昇する(流況 II)となることがわかった。

図-2 と図-3 は、それぞれ流況観察結果と濁りの層の時空間変化の一例を示したものである。CASE A-1 は流況 I, C-1 は流況 II にそれぞれ対応している。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)であり、CASE A では $t_0=1975\text{s}$, CASE B では $t_0=1327\text{s}$, CASE C では $t_0=1000\text{s}$ である。

以下では、各測定断面での流速 u および相対密度差 ε_p の鉛直分布、および両分布に基づきモーメント法で求められた層平均相対密度差 ε , 層平均流速 U および層厚 h に基づき検討を加える。

図-4 は、 $t/t_0=3.65$ での流入水との希釈混合率 $\gamma(=\varepsilon_0/\varepsilon-1)$ の空間分布を示したものである。これからわかるように、(1)ウォール設置により池水との希釈混合が著しく抑制される。(2) F_0 の増加に伴い、流動区間での希釈混合の状態

表-1 実験条件

CASE	F_0	q_0 (m^2/s)	ε_0	z_w/h_e
A-0	0.255	0.0008	0.008	0.006
A-1				0.012
A-2				0.018
A-3				0.006
B-0	0.383	0.0012	0.008	0.012
B-1				0.018
B-2				0.006
B-3				0.012
C-0	0.511	0.0016	0.008	0.018
C-1				0.006
C-2				0.012
C-3				0.018

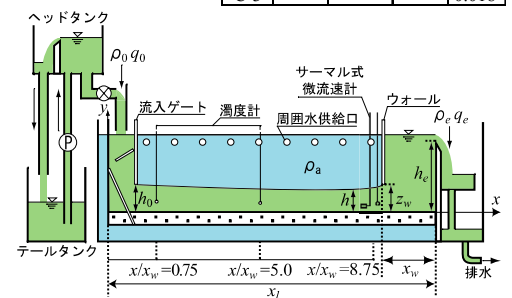


図-1 実験装置と重要な諸量

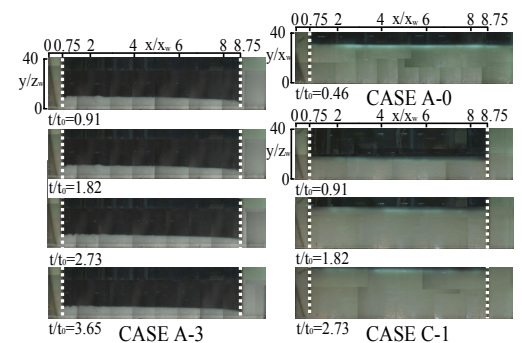


図-2 流況の一例

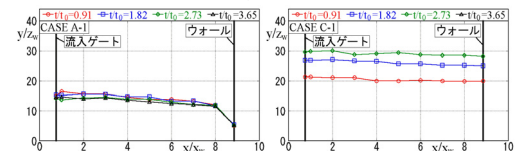


図-3 目視界面の時空間変化

が変化し, CASE A では γ はウォールに向かって若干増加し, CASE B ではこの傾向がより顕著になり, CASE C ではほとんど希釈混合が生じない。

図-5 は, $t/t_0=3.65$ での濁質フラックス $q_f(=\varepsilon Uh)$ と流入ゲート位置での濁質フラックス q_{fi} との比 q_f/q_{fi} の空間分布を F_0 別に示したものである。なお, 経過時間に対する q_f/q_{fi} の依存性はさほど認められなかった。図-5 は, $t/t_0=3.65$ の結果のみ示してある。

図-6 は, 越流水の濁質フラックス $q_{fe}(=\varepsilon_e q_e)$ と濁質フラックス q_{fi} との比 q_{fe}/q_{fi} とウォールの開き z_w/h_e との関係を, 図-7 は, 流動区間およびウォール内での濁質の総堆積量 $M(g/m)$ と流動層上流端での総流入濁質量 M_1 との比 M/M_1 とウォールの開き z_w/h_e との関係を, 図-8 はウォール内での M/M_1 とウォールの開き z_w/h_e との関係を示したものである。図中にはウォール無しの結果も示している。ここで, M 等は, 図-5 に示したような各測定断面の濁質フラックスの差から得られる堆積量を $t/t_0=0\sim 3.65$ で積分して得られたものである。

これらより次のことが確認できる。(1)ウォール無設置では, q_f/q_{fi} は流動区間において単調に減少し, 堆砂の進行が顕著となる。(2)ウォール設置では, 流動区間において q_f/q_{fi} の減少の程度が弱まり, 堆砂が抑制される。(3)CASE A と CASE B では z_w/h_e の増加に伴い堆砂量が減少し, CASE C ではウォール内からの排砂が生じており, その量は z_w/h_e に依存しない。(4)CASE A と CASE B では, z_w/h_e の増加につれて堆砂量は増加するが, CASE C ではウォール内からの排砂のため, 逆傾向あるいはほぼ一定となっている。

図-9 は, ウォール直上部での内部限界水深 $h_{cw}(=(U_w h_w)^2/\varepsilon_w g)^{1/3}$ とウォールの開き z_w との比 h_{cw}/z_w の経時変化を調べたものである。流況 I の CASE A-2 と A-3, B-2 と B-3 および C-3 は $h_{cw}/z_w \approx 2 \pm 1$, 流況 II の CASE B-1 および C-1 は $h_{cw}/z_w \approx 6$, 流況 I の CASE A-1 および流況 II の C-2 は両者の中間的な値を取っている。流速分布から得られた流動層厚と濁りの層厚との関係によれば, 流況 I となるのは流動層厚 $\approx$ 濁りの層厚, 流況 II となるのは流動層厚 $\ll$ 濁りの層厚, 両者の中間となるのは流動層厚 $\leq$ 濁りの層厚の場合であった。また, 前述したように CASE C で $\gamma \approx 0$ となるのは, 池水からではなく, 濁りの層から流動層への連行が生じるためである。

4. 結論

本研究より次のような結論が得られた。(1) $h_{cw}/z_w \approx 2 \pm 1$ であれば, 濁りの層は時空間的にほぼ一定に保たれるが, 堆砂が進行する。(2) $h_{cw}/z_w \geq \alpha$ (本実験条件では $\alpha \approx 6$ であったが, $\alpha \approx 3 \sim 6$ の可能性もある) では, 濁りの層は上昇するが, 堆砂の抑制とウォール内からの排砂が期待できる。(3) $h_{cw}/z_w \approx 3 \sim \alpha$ ではその中間的な挙動となる。(4) 濁質が池内に流入するのは出水時であり, その際の池内の濁りはダム下流域の水質悪化をもたらすものではない。したがって, $h_{cw}/z_w \geq \alpha$ のようにウォールを設定しておけば, 堆砂の抑制とウォール内からの排砂が期待できる。

参考文献: 1) 秋山壽一郎: 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.

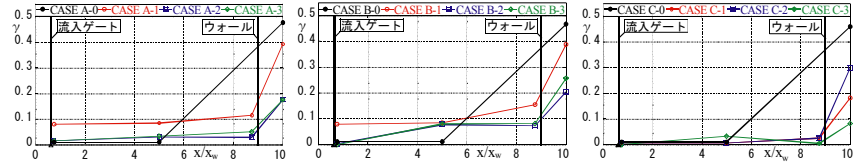


図-4 γ の空間分布

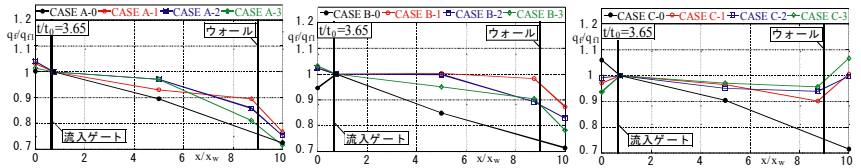


図-5 q_f/q_{fi} の空間分布

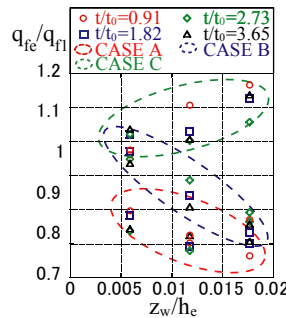


図-6 濁質フラックスとウォールの開き

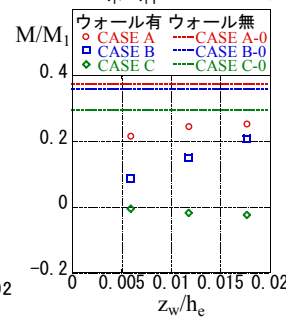


図-7 堆積量 (流動区間)

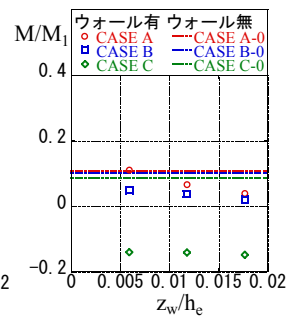


図-8 堆積量 (ウォール内)

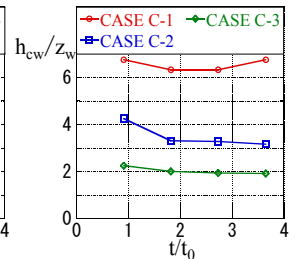
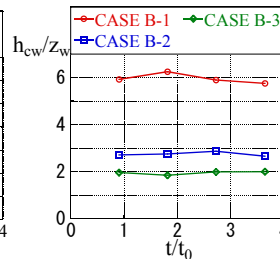
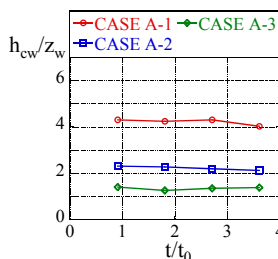


図-9 h_{cw}/z_w の経時変化