

常用洪水吐き前面に敷設したフェンスによる流入濁水の流動制御と排除効果

CONTROL OF TURBID WATER INFLOWS IN A WELL-MIXED RESERVOIR BY A FENCE

秋山 壽一郎¹・重枝 未玲²・廣田 豊³

Juichiro AKIYAMA, Mirei SHIGE-EDA and Yutaka HIROTA

¹フェロー会員 Ph.D. 九州工業大学大学院教授 工学研究院建設社会工学研究系
(〒804-8550北九州市戸畑区仙水町1-1)

²正会員 博士(工学) 九州工業大学大学院准教授 工学研究院建設社会工学研究系(同上)

³学生会員 九州工業大学大学院 工学府建設社会工学専攻(同上)

Downstream control of turbidity currents resulted from turbid water inflows into a well-mixed reservoir by the use of a fence placed before a dam has been investigated experimentally, as a countermeasure to water quality control as well as sedimentation due to turbidity. In this study, the effects of fence deformation due to pressure differences between inside and outside of the fence upon the effects of displacement efficiency are considered as well. It is found that the fence is capable of effectively displacing the inflowing turbid water out of the reservoir, while maintaining the position of plunge point in stable condition. It is also suggested that deformation may degrade fence performance when the position of the fence is far shifted from original setting position.

Key Words : well-mixed reservoir, plunge flow, water quality, turbidity, sedimentation, wall, fence

1. はじめに

ダム貯水池の流動現象や水質は、流入・流出水の影響を強く受ける。このため、池内に流入してくる濁質や栄養塩を滞留させることなく、適切な方法により池外に速やかに放流させることが、池水水質とダム機能の保全を図る上で効果的である¹⁾²⁾。

ダム貯水池の池内対策としては、「循環流制御」、「選択流入」、「選択放流」があり²⁾³⁾、これらはいずれも流動制御により池内の水質保全を図る方法であり、まとめて「流動制御法」と呼ばれる。

このうち、「選択放流」は、水質保全対策としてだけでなく、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ので、ダム機能の保全対策としても有効である。ところが、集水面積が比較的小さな重力式ダムの多くは、「選択放流設備」を備えておらず、常用洪水吐きからの自然越流によって表層放流しているのが実態である。このため、そのようなダムでは、出水時に池内に流入してくる濁質や栄養塩の池外への排除が難しく、土砂の捕捉率も大きくなりやすい。

この対策として、洪水吐き前面にバップルウォールを設け、貯水位とウォール内側の水位差を利用して、堤体

付近の底部堆積層を除去する方式⁴⁾や、カーテンウォールを設置し、池内を流下してくる高濃度濁水を貯水池底部からカーテンウォールで導き、洪水吐きから放流する方法⁵⁾が提案されている。なお、バップルウォール、カーテンウォールのいずれも壁状の剛体施設であり、以下ではまとめて「ウォール」と呼ぶこととする。

著者らは、ウォールの設置条件と池水の流動・拡散現象や流入濁水の排除効果との関係がよくわかっていないことに鑑み、模型実験に基づき、ウォールの流動制御により、① 流入濁水を池外へ速やかに排除できるだけでなく、潜入点の安定化により池水の清水域が保全されること、② 濁水排除効果は、ウォール設置位置がダム堤体高さ～その半分程度であれば、大きな違いは生じないこと、③ 設置深さは、界面～界面上方が効果的であること、④ 上流側にシルトフェンス(以下「フェンス」という)を追加・敷設しても、濁水排除効果は、ウォール単体の場合と大きな違いはないこと、などのことを明らかにしてきた⁶⁾⁷⁾。

本研究は、ウォールで得られた以上の知見を踏まえ、ウォールより簡易に設置可能であるが、水圧により変形が生じるフェンスを洪水吐き前面に敷設した場合に期待される流入濁水の流動制御とその排除効果について、模型実験に基づき検討を加えたものである。

2. 実験

実験装置は、ほぼ一定温度に保たれた清水を満した両面ガラス張りの大型水槽(長さ10m, 深さ1.2m, 幅0.6m)中に、ダム貯水池を模したアクリル製の模型貯水池(長さ7.6m, 深さ0.4m, 幅 $B_0=0.1\text{m}$)を底面勾配 $I=1/80$ の内部的な緩勾配に設定したものである。なお、この勾配設定は、 $I=1/150\sim 1/30$ の範囲における下層密度流に関する著者らの知見⁸⁾やその他の既往の知見^{9),10)}から、滑らかな実験水槽での内部限界勾配 I_c が $1/60\sim 1/50$ と推定されることを踏まえたものである。

この模型貯水池に清水(密度 ρ_a)を満し、その上流端(水深 h_0)から濁水を模した塩水(密度 ρ_0 , 単位幅流量 q_0)を流入させ、流入内部Froude数 $F_0(=q_0^2/\epsilon_0 g h_0^3)^{1/2}$ の自然な潜り込み状態の潜入密度流を発生させた。流入水は、池水に潜入後、池水と希釈混合しながら下層密度流として流下した後、下流端に設けた越流堰(堰高 $T=0.136\text{m}$)から自然越流するようになっている。なお、緩勾配水路における下層密度流であるので、その流動特性は水路下流端条件の影響を受ける状態となっている。ここで、 $\epsilon_0(=(\rho_0-\rho_a)/\rho_a)$: 相対密度差、 g : 重力加速度である。

図-1に実験装置の概要および重要な諸量を、図-2に以下で用いるモーメント法に基づく、層平均の流速 U と相対密度差 E および平均層厚 H の定義を示す。モーメント法を用いてこれらの特性量を定義する理由は、流動層厚(界面高)は一般に密度、流速あるいは目視によって異なり、その定義によって流速や相対密度差が変わってくるために、内部Froude数の定義ができなくなるからである。

実験は、フェンス/ウォール無設置(CASE N)、ウォール設置(CASE W)およびフェンス設置(CASE F)の3ケースについて行い、さらにフェンスの変形・展張による設置位置の影響を調べる目的で、CASE W-FBを行った。なお、ウォールとフェンスには、アクリル板(幅 B_0)とポリ袋を長方形にカットしたもの(幅 $1.65B_0$, $2.55B_0$)をそれぞれ用いた。

実験では、フェンスあるいはその比較対象のためのウォールを設置位置 $x/T=1.0$ と設置深さ $z/h_u=1.0$ に固定し、定常流入条件下で $z/h_u=1.0$ となる $F_0(=0.75)$ (以下「基準 F_0 」という)の前後に F_0 を変化させた。ここで、 x : 越流堰とフェンス/ウォール設置位置との距離、 z : フェンス/ウォールの開度、 h_u : 基準 F_0 における自然な潜り込み状態におけるフェンス/ウォール設置位置での流動層厚(目視界面)である。実験条件を表-1に示す。

測定項目は、(a) デジタルビデオカメラによる模型貯水池側面・上部からのウランで着色した流入水の流況観察、(b) 導電率計による水路縦断方向の断面1~4での鉛直相対密度差分布、(c) サーマル式微流速計と導電率計によるフェンス/ウォール直上流での流速と密度の鉛直分布、(d) 流量計測と導電率計による流出水の流量 q_e

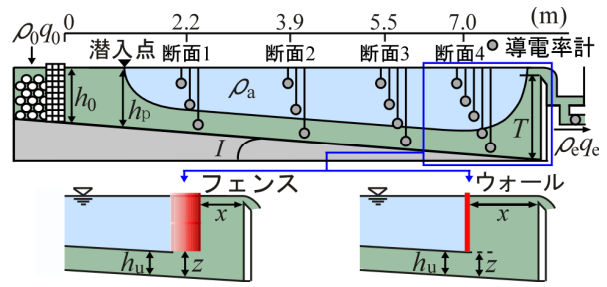


図-1 実験装置と重要な諸量

$$\begin{aligned} \text{層平均流速 } U &= \frac{\int_0^H u^2 dy}{\int_0^H u dy} ; \quad \text{層厚 } H = \left(\frac{\int_0^H u dy}{\int_0^H u^2 dy} \right)^2 ; \quad \text{層平均相対密度差 } E = \frac{\int_0^H u \epsilon dy}{\int_0^H u dy} \end{aligned}$$

図-2 モーメント法

表-1 実験条件

CASE	I	ϵ_0	q_0 (cm^2/s)	F_0	h_c (cm)	z/h_u	x/T	B/B_0			
N1	1/80	0.0007	5.09	0.55	3.36						
N2			6.95	0.75	4.13				-	-	-
N3			8.80	0.95	4.83				1.00	1.00	-
W1			5.09	0.55	3.36						
W2			6.02	0.65	3.75						
W3			6.95	0.75	4.13						
W4			7.87	0.85	4.49						
W5			8.80	0.95	4.83						
W6			9.72	1.05	5.17						
W7			10.6	1.15	5.49	1.00	1.00	1.65			
FA1			5.09	0.55	3.36						
FA2			6.02	0.65	3.75						
FA3			6.95	0.75	4.13						
FA4			7.87	0.85	4.49						
FA5			8.80	0.95	4.83						
FA6			9.72	1.05	5.17						
FA7			10.6	1.15	5.49	1.00	1.00	2.55			
FB1			5.09	0.55	3.36						
FB2			6.02	0.65	3.75						
FB3			6.95	0.75	4.13						
FB4			7.87	0.85	4.49						
FB5			8.80	0.95	4.83						
FB6			9.72	1.05	5.17						
FB7			10.6	1.15	5.49	0.42	1.06	-			
W-FB1			5.09	0.55	3.36						
W-FB3			6.95	0.75	4.13						
W-FB7			10.6	1.15	5.49						

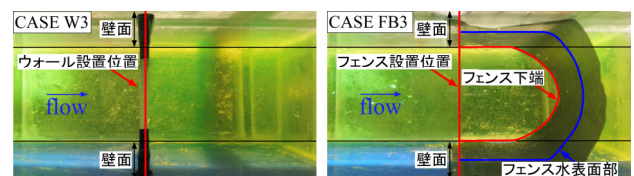


図-3 フェンス/ウォール形状の一例
(左: ウォール, 右: フェンス(2.55 B_0))

と密度 ρ_e の計測である。

3. 実験結果と考察

図-3は、フェンスがその内側と貯水位との水位差に

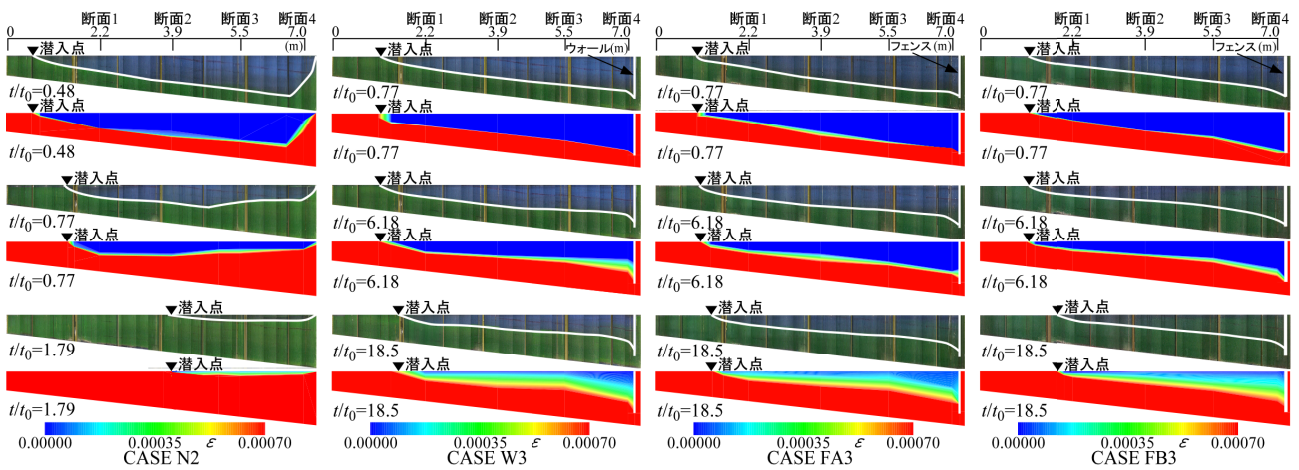


図-4 流況観察と相対密度差の空間分布の結果の一例(上：流況観察，下：密度分布計測)

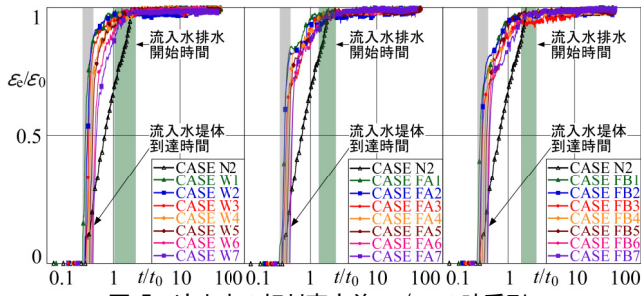


図-5 流出水の相対密度差 $\varepsilon_e/\varepsilon_0$ の時系列 (左：ウォール，中：フェンス(1.65 B_0)，右：フェンス(2.55 B_0))

よって変形・展張している様子(2.55 B_0)を、ウォールと比較して示したものである。このようにフェンスは変形・展張するものの、その形状は経過時間・流入条件の影響をほとんど受けないことが確認された。なお、図中に示したように、フェンスでは、展張により実質的な設置位置が堤体側に变化する。具体的には、堤体側に膨れたフェンス形状を考慮するとその平均的な設置位置と設置深さは、1.65 B_0 のフェンスでは $x/T \approx 0.75$ と $z/h_u \approx 1.04$ に、2.55 B_0 では $x/T \approx 0.42$ と $z/h_u \approx 1.06$ となる。

図-4は、無次元経過時間 t/t_0 の関係として、流況観察結果(各 t/t_0 の上図)と池水全体の相対密度の空間分布の計測結果(各 t/t_0 の下図)の一例(基準 F_0 の結果)を示したものである。なお、上図は先述した測定項目(a)から得られた流入水の流動状況を、下図は測定項目(b)から得られた相対密度差の鉛直分布から作成された相対密度差の空間分布を示している。ここに、 t_0 は総入れ替え時間(=貯水池の全容量/流入流量)である。なお、基準 F_0 では $t_0 = 1003s$ である。これより次が確認できる。

① フェンス/ウォール無設置(CASE N2)では、 t/t_0 の増加とともに、流入水が池内に滞留し、極めて短時間で池水と流入水が入れ替わる。

② フェンス/ウォール設置(CASE W3, FA3, FB3)では、流入水が速やかに排除されると同時に、潜入点も一定時間安定化し、池水の清水域が長時間保全される。

③ フェンス幅(CASE FA3, FB3)の違いとしては、1.65 B_0 のフェンスの方がその効果が大きく、ウォールとほぼ同様な効果が発揮されていると推察される。

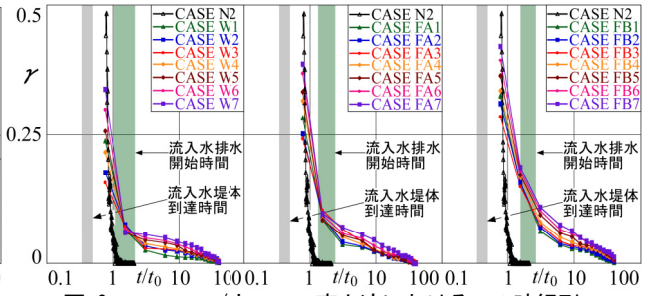


図-6 フェンス/ウォール直上流における γ の時系列 (左：ウォール，中：フェンス(1.65 B_0)，右：フェンス(2.55 B_0))

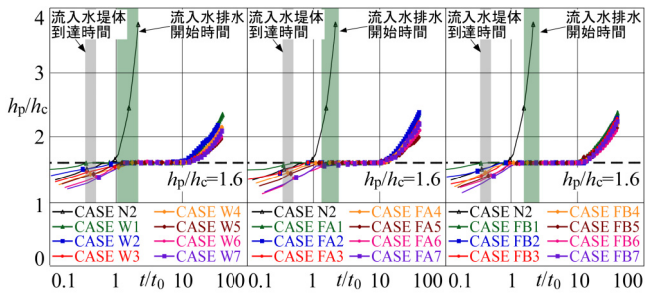


図-7 潜入水深 h_p と内部限界水深 h_c との h_p/h_c の時系列 (左：ウォール，中：フェンス(1.65 B_0)，右：フェンス(2.55 B_0))

図-5は、フェンス/ウォール設置と無設置での流出水の相対密度差 $\varepsilon_e(=(\rho_c-\rho_a)/\rho_a)$ と ε_0 の比 $\varepsilon_e/\varepsilon_0$ の時系列を示したものである。図中にグレーで示した「流入水堤体到達時間」とは、流入水と池水が混合した水が貯水池から流出し始める時間であり、グリーンで示した「流入水排水開始時間」とは、流入水と同じ相対密度差($\varepsilon_e/\varepsilon_0 \approx 1.0$)で貯水池から流出し始める時間である。なお、流入水堤体到達時間と流入水排水開始時間は、流入内部Froude数 F_0 が大きくなると、フェンス/ウォールいずれにおいても増加するが、 $F_0 \geq 約0.85$ でほぼ一定値となる傾向がある。これより次が確認できる。

① フェンス/ウォール無設置では流入水と池水の混合が大きく、また短時間で池水と流入水が入れ替わり、流入水は $t/t_0 \approx 0.4$ で池外に流出してくる。一方、フェンス/ウォール設置では、流入水と池水との希釈混合が抑制され、その程度は F_0 が小さい方が顕著となる。また、フェンスでは、2.55 B_0 の方が全体的に希釈混合が大きい。

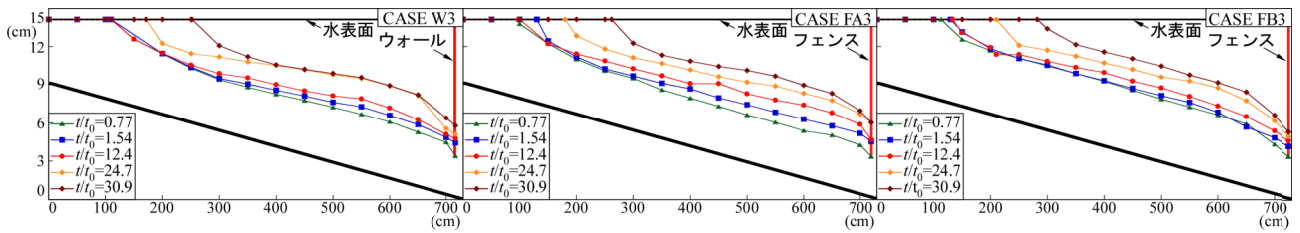


図-8 目視界面の経時変化

(左：ウォール, 中：フェンス(1.65 B_0), 右：フェンス(2.55 B_0))

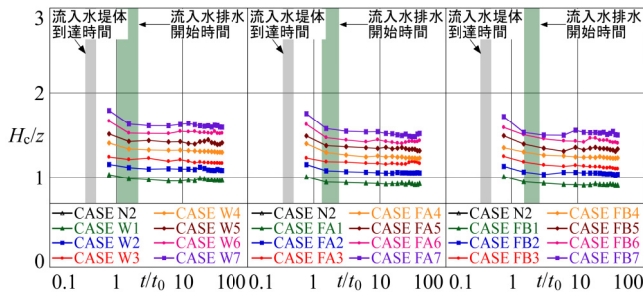


図-9 フェンス/ウォール直上流における H_c/z の時経列

(左：ウォール, 中：フェンス(1.65 B_0), 右：フェンス(2.55 B_0))

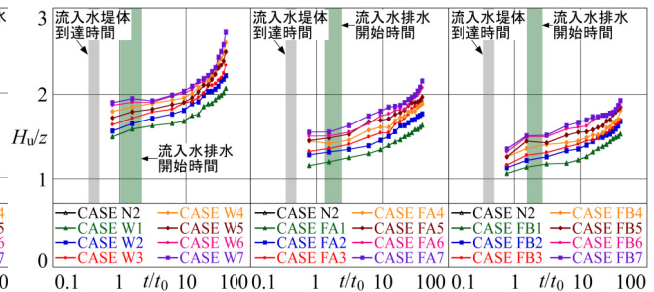


図-10 フェンス/ウォール直上流における H_c/z の時経列

(左：ウォール, 中：フェンス(1.65 B_0), 右：フェンス(2.55 B_0))

② フェンス/ウォール設置で $\varepsilon_c/\varepsilon_0$ が大きく変化するのは、流入水堤体到達時間～流入水排水開始時間 ($t/t_0 \approx 0.4 \sim 1.3$)に至るまでの時間帯である。

③ いずれについても流入水堤体到達時間は同様であるが、流入水排水開始時間は、ウォールで最も短く、2.55 B_0 のフェンスで最も長くなる。

図-6は、設置時のフェンス/ウォール直上流での流入水の希釈混合率 $\gamma(=e_0/E-1)$ の時系列を示したものである。これより次が確認・推定できる。

① 図-4、図-5を勘案すると、フェンス/ウォール無設置では、 t/t_0 に対して γ は急激に、 $\varepsilon_c/\varepsilon_0$ はそれよりもやや緩慢に変化していることから、流入濁水は池水と希釈混合しつつ、池水の一部も池外に直接流出されている。

② フェンス/ウォールの設置効果により、流入水と池水の希釈混合が大きく抑制される。また、流入水排水開始時間からわかるように、それを設置することで、流入水は無設置の約1.2～2.0倍早く池外に排除される(図-5)。

③ γ はウォールで最も小さく、2.55 B_0 のフェンスで最も大きい。したがって、2.55 B_0 のフェンスでは池内での希釈混合が大きくなっている(図-6)。

④ 1.65 B_0 のフェンスあるいはウォールでは、 F_0 の大小に関わらず、 γ は $t/t_0 \approx 1.0 \sim 1.5$ で急減した以後は緩やかに減少する。また、 $t/t_0 \approx 1.4$ で γ の大小関係に入れ替わりが起こっており、この時間以前では基準 F_0 で γ が最小となり、基準 F_0 より F_0 が大きい方が γ が大きくなる。また、この入れ替わりが発生する時間は、流入水排水開始時間の時間帯内に存在している。一方、2.55 B_0 のフェンスでは、 γ は指数的に減少し、1.65 B_0 のような傾向は見られない。また、 γ の大小関係に入れ替わりは生じておらず、 F_0 が大きい方が常に γ が大きい。

図-7は、フェンス/ウォール設置と無設置の潜入水深 h_p と流入条件に基づく内部限界水深 $h_c(=(q_0^2/\varepsilon_0 g)^{1/3})$ との比

h_p/h_c の時系列を示したものである。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⁸⁾である。これと γ から得られた知見(図-6)より、次が確認・推定できる。

① フェンス/ウォール無設置で h_p/h_c が急増するのは、流入水の大部分が池内に滞留することと、表層放流により清水の一部が池外に流出することが主因である(図-4)。

② フェンス/ウォール設置では、流入水が池外に流出し始める $t/t_0 \approx 0.4 \sim 0.5$ から、 $h_p/h_c > 1.6$ となり始める $t/t_0 \approx 10 \sim 13$ までの時間帯は $h_p/h_c \approx 1.6$ となる。これは、平衡状態の潜入密度流と同様な流動状態が保たれ、流入水が堤体底部に設けられた放流施設から排水されている状態となり、潜入点の安定化が図られるためである(図-4)。

③ フェンス/ウォール設置で h_p/h_c が $h_p/h_c=1.6$ に向かって微増する時間帯は、ほぼ流入水堤体到達時間～流入水排水開始時間の間である。このことから、この時間帯は、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、フェンス/ウォールを通して池外に排水され始めた後に、その設置効果が発現し始め、潜入点が安定化に向かっているときであると考えられる(図-4)。

④ 1.65 B_0 のフェンスあるいはウォールでは、 $h_p/h_c=1.6$ に達する時間と先述した γ の大小関係の入れ替わりが起こる時間がほぼ一致していることから(図-6)、潜入点が安定化に向かうにつれて、 γ が減少することが確認できる。言い換えれば、潜入点が堤体側に移動しているときに γ が大きく、安定化するにつれて γ が小さくなっている。また、潜入点が安定している時間帯において、 t/t_0 に対して、ウォール設置では γ はほぼ一定、1.65 B_0 のフェンス設置ではやや減少している。

γ の大小関係の入れ替わりが起こる理由も潜入点の安定性で説明できる。すなわち、図-6と図-7のウォール設置の結果からわかるように、 F_0 が大きい方が、 h_p/h_c が大きく変化しながら $h_p/h_c=1.6$ に向かっており、 γ も同様な傾

向となっている。また、 γ の傾向からわかるように、 F_0 が大きい方が $\gamma \simeq$ 一定となりやすい。これが、 γ の大小関係の入れ替わりが生じる理由である。ウォールと比較すると、 $1.65B_0$ のフェンスでは、潜入点が安定している時間帯でも γ が緩やかに減少しており、ウォール設置より潜入点がやや不安定な状態にあると推察される。なお、このことは h_p/h_c からは確認が難しい。

⑤ $2.55B_0$ のフェンスでは、前述したように幅 $1.65B_0$ のフェンスよりも流入水排水開始時間に遅れが見られ、 γ は指数的に減少している(図-6)。したがって、潜入点の安定化は図られてはいるものの、流入水と池水との希釈混合が進行していると考えられる。

⑥ フェンス/ウォール設置でも、 $t/t_0 \geq 10 \sim 13$ で徐々に清水域が消滅する。この理由は、流入流量と同じ流量しか排水されないことと、図-4からわかるように、流入水と池水の混合水の一部がフェンス/ウォール直上流付近に徐々に残留していくからである。その結果、この残留混合水によって、フェンス/ウォール設置位置付近の流動層厚が上昇し、 $F=1/80$ の内部的な緩勾配であるために、その影響が潜入点に向かって徐々に伝播する。その影響が潜入点に達した時点で、それまで保たれていた潜入点での平衡状態が失われ、潜入点が徐々に下流側へ移動し、清水域が消滅すると考えられる。

図-8は、流況観察結果(図-4)の一例として、基準 F_0 の場合の目視界面の経時変化を示したものである。これより次が確認・考察できる。

① 図-7の考察⑥で触れたように、フェンス/ウォール設置位置付近の流動層厚が上昇し、その影響が潜入点に向かって徐々に伝播し、潜入点に達した時点で潜入点が徐々に下流側へ移動する。

② 潜入点は、ウォールが最も安定しており、その堤体への移動は、ウォールで最も遅く、 $2.55B_0$ のフェンスで最も早くなり、移動量もウォールで最も少なく、 $2.55B_0$ のフェンスで最も多くなる。

③ $1.65B_0$ と $2.55B_0$ のフェンスの大きな違いは、 $2.55B_0$ のフェンスでは t/t_0 が小さい段階で既に界面が膨らんだ形状となっており、これが前述した潜入点の移動量や池内での希釈混合の大きさと関係していると考えられる。

以下では、実験から得られた流速と密度の鉛直分布にモーメント法を適用して定められた層厚 H および層平均相対密度差 E と流速 U に基づき検討を加える(図-2)。

なお、以上で述べてきたフェンスとウォールの特性の違いは、フェンスの実質的な設置位置と深さが、 $x/T=1.0 \rightarrow$ 約0.42、 $z/h_u=1.0 \rightarrow$ 約1.06に変化していることと関係している可能性があることから、 $x/T=0.42$ 、 $z/h_u=1.06$ にウォールを設置したCASE W-FBにより確認を行った。その結果は以下の図-11以降に示してある。

図-9と図-10はそれぞれ、フェンス/ウォール設置位置の直上流断面での内部限界水深 $H_c(=(q_w^2/Eg)^{1/3})$ 、層厚 H_u と z との比 H_c/z 、 H_u/z の時系列を示したものである。ここ

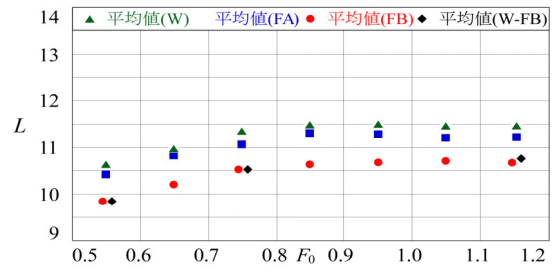


図-11 L と F_0 との関係

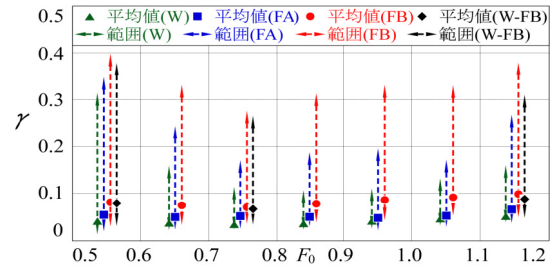


図-12 γ と F_0 との関係

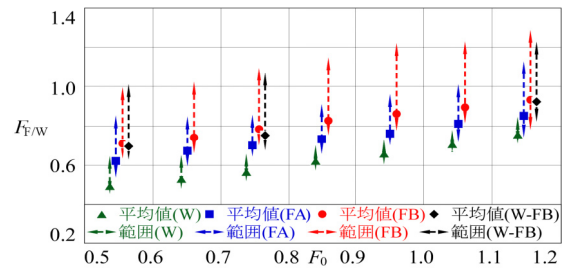


図-13 F_{W} と F_0 との関係

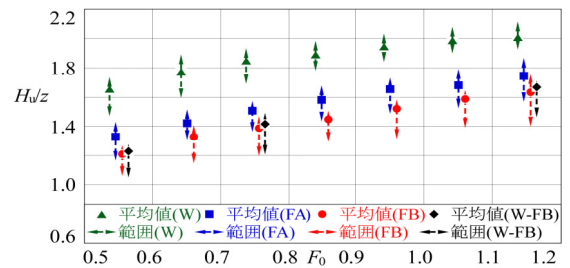


図-14 H_u/z と F_0 との関係

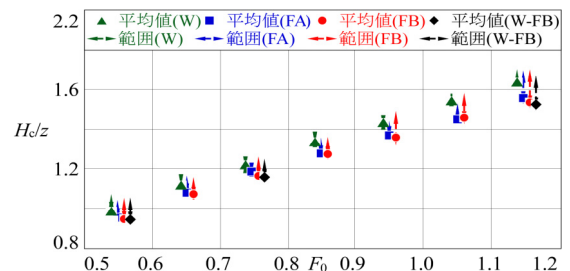


図-15 H_c/z と F_0 との関係

で、 $q_w = (1+\gamma)q_0$ である。なお、CASE W-FBによる H_c/z 、 H_u/z について確認した結果、結果はほぼ同様であった。これより次が確認・考察できる。

① 図-9より、 H_c/z は、フェンス/ウォールのいずれも $h_p/h_c \simeq 1.6$ の平衡状態、それ以降の t/t_0 において安定している。また、CASE W1以外は全て $H_c/z \geq 1.0$ となっている。

② 図-10より、 H_u/z は、フェンス/ウォールのいずれも

t/t_0 に対して増加傾向にあり、 $h_p/h_c \doteq 1.6$ の平衡状態が維持されなくなると増加する(図-7)。特にウォールでは、平衡状態での増加率が小さく、それ以降で急増する。一方フェンスではそのような急変は認められない。

図-11は、図-7から $h_p/h_c \doteq 1.6$ の平衡状態が維持される t/t_0 の継続時間 L を読み取り、 F_0 との関係として示したものである。また、図-12～図-15はそれぞれ、平衡状態が維持される時間帯での γ 、 F_{FW} 、 H_w/z および H_w/z と F_0 との関係を示したものである。ここで、 F_{FW} は、フェンス/ウォール直上流での内部Froude数である。これらとそれまでの検討から、次が確認・考察できる。

① 図-11より、 L はフェンス/ウォールのいずれも F_0 に対して線形的に増加し、 $F_0 \geq 0.85$ ではほぼ一定値を取る。 L はウォールで最も長く、 $2.55B_0$ のフェンスで最も短い。

② 図-12より、 γ の平均値は F_0 についてはほぼ一定であり、その大きさはウォールで最も小さく、 $2.55B_0$ のフェンスで最も大きい。変動幅もウォールで最も小さく、 $2.55B_0$ のフェンスで最も大きい。

③ 図-13より、 F_{FW} は $F_{FW} < 1.0$ となっており、フェンス/ウォール直上流では内部的に常流となっている。その大きさはウォールで最も小さく、 $2.55B_0$ のフェンスで最も大きい。変動幅も傾向は同様である。

④ 図-14より、 H_w/z はフェンス/ウォールのいずれについても、 F_0 に対して線形的に増加し、 $F_0 \geq 0.85$ で増加率が緩やかになる。また、 H_w/z と L には相関が認められることから、前述のような L の変化は、 H_w/z により生じていると推察される。すなわち、 F_0 が大きくなると H_w/z も大きくなり、 L は $F_0 < 0.85$ で線形的に増加するが、 $F_0 \geq 0.85$ では H_w/z の変化が小さくなるため、 L がほぼ一定になると考えられる。

⑤ 図-15より、 H_w/z はフェンス/ウォールのいずれについても、 L や H_w/z で見られた傾向の変化は認められず、 F_0 に対して線形的に増加する。

⑥ 図-11～図-15より、 $2.55B_0$ のフェンス結果とその実質的な位置にウォールを設置して得られた各特性量はほぼ同様な結果となった。ただし、 F_0 が大きくなると若干の違いが認められ、また変動幅は $2.55B_0$ のフェンスよりやや小さくなる傾向が確認された。

4. まとめ

フェンスを洪水吐き前面に敷設した場合に期待される流入濁水の流動制御とその排除効果について、模型実験に基づき検討を加え、次のような知見が得られた。

(1) フェンスは、ウォールと同様に池内清水の流出を遮断・保全し、流入濁水を速やかに池外へ排除できる。また、密度流堆砂の抑制も期待できる。

(2) フェンスは、その膨らみにより実質的な設置条件(設置位置、設置深さ)が変化し、その影響で潜入点が堤

体側へ移動しやすくなる。また、それに起因して若干の希釈混合も起こる。このため、潜入点が安定している時間帯がウォールに比べて若干短くなり、流入水が池内に残留しやすくなる。

(3) この膨らみによる影響は、フェンス幅が水路幅より大きいほど大きくなるが、幅 $1.65B_0$ のフェンスとウォールの設置効果に大きな違いが認められないことから、この程度のフェンス幅であれば、ウォールと同程度の設置効果が得られる。フェンス幅が $2.55B_0$ になると池水の清水保全と流入濁水の排除効果が $1/3 \sim 1/2$ 程度に低下する。

(4) 以上から明らかなように、フェンス、ウォールの設置効果は、設置条件、特に設置部深さに依存する。このため、現場の適用にあたっては、堤体近くでの自然な潜り込み状態の潜入密度流の層厚を把握する必要がある。

謝辞：本研究を遂行するに当たり、本学学部4年生松本創次郎君の協力を得た。ここに記して謝意を表します。

参考文献

- 1) 秋山壽一郎：流入型密度流の水力特性とその予測、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、土木学会水理委員会、環境水理部会、pp.69-167, 2000.
- 2) 丹羽 薫：ダム湖の水質対策について、大ダム、No.144, pp.41-63, 1993.
- 3) 荒井 治、高須修二：ダム湖の水質対策の動向、ダム工学、Vol.7, No.2, pp.90-97, 1997.
- 4) 塚原千明、角 哲也、宮井貴大、柏井条介：カーテンウォール付常用洪水吐きの土砂放流特性、土木技術資料40-11, pp.56-61, 1998.
- 5) 日本国土開発(株)：ダム堆砂除去(河川還元)システム、ダム技術提案、<http://www.nilim.go.jp/lab/fdg/k-gijyututeian.htm>.
- 6) 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.
- 7) 秋山壽一郎、重枝未玲、山崎佳祐：ウォールを用いた流入濁水の流動制御とその排除効果、水工学論文集、第55巻、pp.1519-1524, 2011.
- 8) 秋山壽一郎、片山哲幸、西恭太、土居正明：混合型・成層型貯水地での潜入密度流の水力特性について、水工学論文集、第48巻、pp.1375-1380, 2004.
- 9) Lee, H.Y & Yu, W.S.: Experimental study of reservoir turbidity current, J. of Hydraulic Engineering, ASCE, Vol.123, No.6, pp.520-528, 1997.
- 10) 福岡捷二、福嶋祐介、中村健一：2次元貯水池潜入密度流の潜り込み水深と界面形状、土木学会論文報告集、第302号、pp.55-65, 1980.

(2012. 9. 30受付)