

貯水池濁水対策カーテンの水力模型実験による検討

独立行政法人土木研究所 正会員 ○櫻井 寿之
 独立行政法人土木研究所 正会員 柏井 条介

1. はじめに

貯水池の濁水長期化対策として選択取水設備、濁水バイパス、清水バイパス等が挙げられるが、近年、流動制御カーテン（フェンスと称される場合もある）による対策が試験的に数例実施されている。この手法は貯水池内にカーテンを設置することで出水時の流動を制御して貯水池内に清水領域を確保することを目的とした対策である。バイパスと比較して実施のためのコストは低いが、カーテンが貯水池内の流動に与える影響や清水領域確保の効果などは明確でない。そこで、本稿ではカーテンの特性について水力模型実験により得られた知見を報告する。

2. 実験方法

水力模型の概要を図-1に示す。実験に用いた水路は、高さ2.0m×幅2.0m×長さ12.0mであり、この水路内に、図中に示すような貯水池模型を製作した。放流口は水路下流端に内径0.1mの円形放流口を中心標高が水深0.5mとなるように設置しており、バルブによって放流量を調整した。実験条件は表-1に示す9ケースで、流入量と放流量は等しくし、実験期間中一定とした。流入水は可視化のため白色染料で着色した。図-1に示した上流カーテンは比重の大きい流入水を貯水池の底層部や躍層位置に穏やかに導くことを、下流カーテンは底層から放流水を取り込むことを目的としており選択取水設備等と類似の働きを期待したものである。

3. 実験結果と考察

図-2に実験開始から30分後の流況を示す。30分後では、比較的穏やかな流況となり、流況の変化速度が小さくなっていることを観察により確認している。

1) カーテンの効果と確保される清水域（ケース1～4）

今回の実験では流入量=放流量としているので、水路内の濁水（便宜的に流入水を濁水と称する）領域の増大は、流入水と放流水の濃度（実際には水温）の違いにあると考えてよい。この差は、境界面の連行量の差により生じるものと考えられ、連行量が多い程、濁水領域は上方にまで達することになる。

上記の観点で、ケース1～4の結果を考えてみる。まず、1と2であるが、ケース1の濁水領域の高さがケース2の濁水領域より高いのは、濁水領域流入部での連行によるものと思われる。すなわち、上流カーテンのあるケース2では、濁水が直接濁水領域内に放流され清水との直接的な接触が無いのに対し、カーテンがないケース1では潜り点から濁水領域に達するまでの区間に比較的速い流速が存在し連行量が多いことが考えられる。

次にケース3であるが、ケース3ではケース1で残されていた清水領域が消滅している。これは、濁水領域の発達過程に差があったものと推察される。すなわち、通水初期で濁水領域が発達していない段階では、流入水は周辺清水を連行しながら流量を増し、ダム位置に達するが、下流カーテンにより取水位置が低位にあるケース3では、堤体到達位置で流れが取水側とカーテン上流面に沿った上昇流に分かれ、この上昇流が貯水池全体に回流を生じさせて、全体を懸濁させたものと思われる。一方、取水口が上方にあるケース1では、ダム位置に達した流れがダム上流面に沿って上昇したのち取水口からその一部が抜き取られており、これにより上昇方向の運動エネルギーの低減が行なわれ、回流が水面に達しなかったものと思われる。ケース4ではケース2より清水領域が大きくなっている。これは、ケー

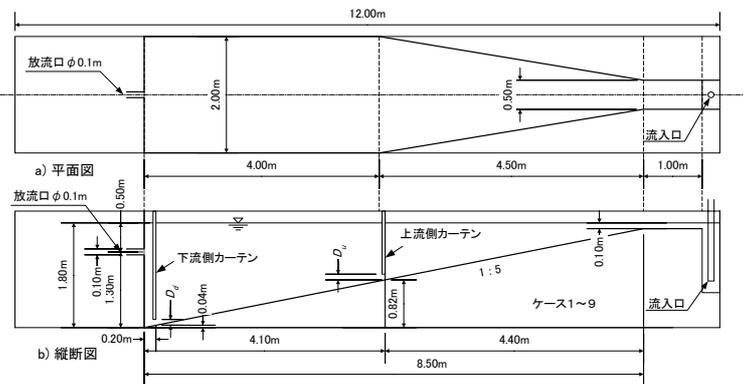


図-1 貯水池模型概要

表-1 実験条件

ケース	流量 Q(l/s)	流入水温 T _{ent} (°C)	流入水密度 ρ _{ent} (g/cm ³)	貯水池内 初期水温 T _u (°C)	貯水池内 初期水の密度 ρ _u (g/cm ³)	流入水と貯水池内 初期水の密度差 Δρ(g/cm ³)	カーテン開口高 (上流側) D _u (cm)	カーテン開口高 (下流側) D _d (cm)	通水時間 (分)	流入部の Froude数 F _r	流入部の Reynolds数 R _e
1	3	13.6	0.99933	22.0	0.99781	0.00152	カーテン無	カーテン無	30	0.061	5.059
2	3	18.3	0.99858	25.5	0.99695	0.00163	10	カーテン無	60	0.061	5.706
3	3	16.8	0.99884	24.4	0.99723	0.00161	カーテン無	10	60	0.061	5.497
4	3	15.0	0.99913	22.6	0.99767	0.00146	10	10	60	0.061	5.249
5	3	17.6	0.99870	28.7	0.99606	0.00264	2	10	60	0.061	5.608
6	3	18.6	0.99852	26.2	0.99676	0.00176	5	10	60	0.061	5.748
7	3	18.4	0.99856	28.7	0.99606	0.00250	30	10	60	0.061	5.720
8	6	21.5	0.99792	31.8	0.99511	0.00281	10	10	60	0.121	12.322
9	8	21.7	0.99788	33.3	0.99462	0.00325	10	10	30	0.162	16.506

※ 貯水池内初期水温は深30cm～下層の平均とした。

※ 密度、動粘性係数は近似式より水温より計算（近似式の誤差は0～50°Cで密度0.005%以下、動粘性係数0.3%以下）

キーワード 貯水池、濁水長期化、流動制御カーテン、水力模型実験

連絡先 〒305-8516 つくば市南原1-6 (独)土木研究所水工研究グループ河川・ダム水理チーム Tel : 029-879-0867

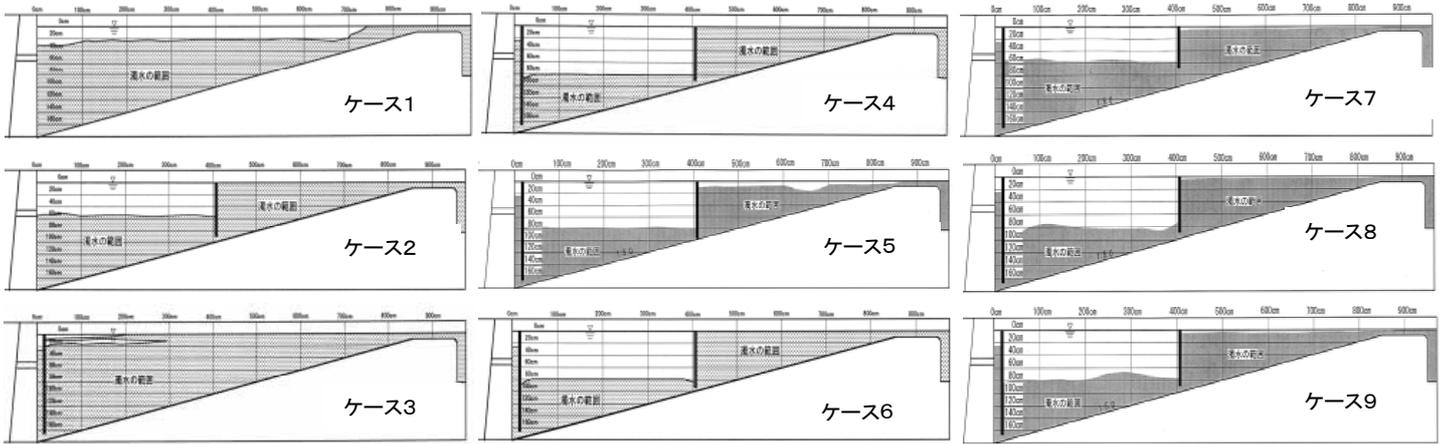


図-2 実験結果の流況 (30分後)

ス2の取水口位置が高かったことに原因があり、濁水領域の最高標高は、取水口（或いはカーテン取入れ口）標高が最低の標高となる。

以上より、上流カーテンにより得られる清水領域と濁水領域の境界標高は、上流カーテン下端又は取水口標高の何れか高い標高のやや上方に設定されるものと思われる。

この境界の定常性（時間的変化）は、境界面の連行特性により決まり、連行特性は密度フルード数により求められる。河口部の微小密度差の淡塩二層流場における従来の知見によると上層水（淡水、運動量大）への下層水（塩水）の連行速度は以下の式で求められる。

$$w_e = E \cdot U_1 \quad (1)$$

$$E = 2 \times 10^{-3} F_{d1}^3 \quad (2)$$

$$F_{d1} = U_1 / \sqrt{gh_1(\rho_2 - \rho_1) / \rho_2} \quad (3)$$

ここに、 w_e ：連行速度、 E ：連行係数、 U_1 ：上層平均流速、 F_{d1} ：上層の密度フルード数、 ρ_1 、 ρ_2 ：上層および下層の密度、 g ：重力加速度、 h_1 ：上層の層厚を表す。今回対象とする現象では密度の大きい下層の運動量が大きく上層水を連行している現象であるが、上式を準用して概略の連行量を推定することが可能と思われる。ただし、実際問題の対応では、貯水位の変化や貯水池地形の3次元性の影響、流入濁水の密度変化等の影響を考慮したカーテン直下流の水量の設定方法が今後の課題として考えられる。

2) 上流カーテン開口高の影響 (ケース4～7)

ケース4～7は基本的には1)の考察を逸脱するものではない。ケース7の結果は上記の考察によりそのまま予想されるものである。ケース4に対しカーテン下端を小さくしていったケース5、6で境界標高が変化しなかったのは、開口部面積が小さく下端標高変化による流速変化が大きかったことに原因があるものと思われる。すなわち、カーテン下端を通過する流れは、濁水領域内で噴流拡散現象により減勢されるが、噴流上方には補償流が形成され、この補償流による連行量が小さくなるためにはある程度の被り水深が必要になる。カーテン下端と清水領域と濁水領域の境

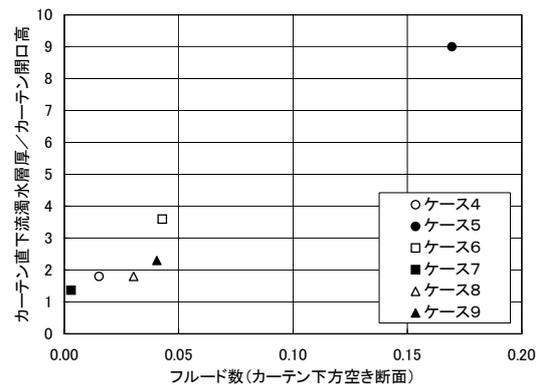


図-3 上流カーテン下方空き断面のフルード数とカーテン直下流濁水層厚/カーテン開口高との関係

界面の標高差は、こうした減勢機構により決まるものと思われる。因みに、今回の実験のケース4～9における上流カーテン下方空き断面通過流れのフルード数と「カーテン直下流の濁水層厚/カーテン開口高」の関係を図-3に示す。これより両者にはかなり良い相関が認められる。

3) 流量の影響 (ケース4, 8, 9)

ケース4に対し流量を変化させたケース8, 9では濁水確保領域の若干の上昇がみられるものの境界標高はほとんど変わっていない。これは、実験程度の流量であれば、カーテン下端が濁水確保領域の濁水によりある程度覆われると、連行量が余り大きく変化しないことを表すものと考えられる。

以上より得られた知見をまとめると以下のとおりである。

- ①濁水領域では、上方の境界面がほぼ水平となる。
- ②上流カーテンの効果は、流入水を濁水領域内に流入させることにより、清水連行量を小さくすることにある。
- ③清水領域の最低標高は取水口又は上流カーテンの何れか高い標高以上の標高となる。従って、下流カーテンは、取水口位置を下げることによって清水領域の最低標高を下げることに効果がある。
- ④上流カーテン下端標高が清水領域の最低標高を決定する場合には、カーテン下端標高と濁水領域最高標高との差は、カーテンの下端を通過する流れの減勢機構により決まり、カーテン下端の開口部が小さい程大きな標高差となる。