

底層水循環方式による貯水池濁水現象軽減策の試算

An Attempt to Attenuate of Long-Term Turbidity in Reservoirs
by Mixing of Cold Water at the Reservoir Bottom with Flood Water

豊橋技術科学大学 正員 中村 俊六

豊橋技術科学大学 正員 四倉 信弘

1. はじめに

貯水池の濁水長期化現象については、その密度流的特性も含めて現象そのものについての理解はかなり進んできたが、その対策となると選択取水操作のみという実情であり、その意味では問題は工学的にも決して解決していない現状と思われる。選択取水操作のみでは限界があることは言うまでもないが、当面の問題としては有効な選択取水操作が必ずしも容易ではないという点にもある。底層取水、中間取水および表層取水相互の切替時期を誤まったり、あるいは表層取水だけで運用したりすれば、むしろ悪化する場合もあり得るのである。

濁水対策は一般に夏期のそれが重要であるが、夏期の出水前には水温2次躍層とその下の清浄な冷水層が形成されているのが一般的である。取水の規模が比較的小さく、濁水が躍層上をすべるように流下していく場合には、表層取水を続けることが濁水の滞留時間を短くするため有効であるが、躍層が破壊される規模の取水の場合や、すでに躍層が破壊され貯水池全体が濁水化した場合には、特に高濁度の底層水をすみやかに排出するためにも底層取水を行うことが有効となる。躍層が破壊される規模の出水の場合、破壊される以前に躍層の下に温存されていた清浄な冷水層は、流入した濁水と混合して濁水全体の量を大きくすることに寄与することになり、濁水対策上はむしろマイナスの要因となっている。

本研究の着眼点は、この躍層下の清浄な冷水層を夏期の濁水対策に利用できないか、という点にある。利用の仕方としては、他の貯水池に退避させ温水化した後に利用するなどの方法も考えられるが、ここでは単にポンプアップして流入河川水に混入させる方法について、その濁水対策としての有効性を数値シミュレーションによって検討した。

2. 数値計算モデル

数値シミュレーションには、いわゆる成層モデル（鉛直一次元移流分散モデル）を用いた。ただし、日射量その他による池表面を通しての熱交換については省略して代りに池表面水温を与えることとし、拡散項及び濁質の沈降項を省略、流入部における連行も考慮せず、流入流量と流出流量を常に等しくして貯水位を一定とした。こうした簡略化を行ったのは計算誤差を少なくするとともに、本方式の効果を密度分布に基づく移流特性に限定して注目するためである。

対象貯水池の形状としては揖斐川横山ダム貯水池のそれを用いた。ただし、流入河川は一本とした。取・放水設備についても横山ダムと同一とした。同ダム貯水池の諸元の概略は以下のとおりである。

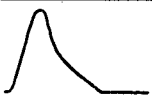
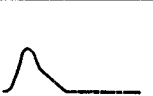
堤高：80.8m、貯水池面積：1.7Km²、有効水深：27.5m、常時満水位：EL207.5m、
総貯水量：43000000m³、有効貯水量：33000000m³、選択取水設備最大使用水量：
129m³/s、洪水調節用放流ゲート下端位置：EL181.3m、底層取水時取水口下端位置：
EL172m

なお、低層水をポンプアップするための取水位置はEL163.0m（貯水池底上1mの位置）とし、取水に伴う流動層厚、流速分布等は表層取水と同様に扱った。

計算条件を一括して表-1に示す。横山ダム貯水池における実際の洪水データを用いての試算なども別途に行ったが、ここでは本方式の特性を把握しやすいと思われる試算結果のみをとりあげた。同表に示した計算条件記号の最初の文字X、YあるいはZは、それぞれ中規模単一出水（流入ピーク流量220m³/s、

小規模単一出水（同 $80\text{ m}^3/\text{s}$ ）、および中規模出水（ $220\text{ m}^3/\text{s}$ ）の直後に2山の小規模出水（ $80\text{ m}^3/\text{s}$ ）を想定した出水を表している。続く記号S、BおよびBSは、をそれぞれ表層取水、底層取水、および下層から表層に切換える選択取水（流入濁度が 20 ppm 以下になった時切換）を行ったケースであることを示している。以下に続く00あるいは50C、50Q、50Tは、ポンプアップして流入河川水と混合させる流量とその時期を示している。なお、流入濁度Cは流入流量Qに対して、 $C=8(Q-10)+3$ とした。また、流量が $100\text{ m}^3/\text{s}$ を越すと越した分はゲート放流されるものとした。流入水温および貯水池表面水温の変化の状況は図-1に示されている。なお初期条件としてはEL181m付近に2次躍層があり、それより下層では水温 $8.2\sim 10.0^\circ\text{C}$ 、濁度0、それより上層では $16\sim 18^\circ\text{C}$ 、濁度 3 ppm とした。

表-1 計算条件

中規模出水(X)	小規模出水(Y)	2連続出水(Z)		
			取水方法	循環流量
XS-00	YS-00	ZY-00	表層取水	0
XB-00	YB-00		底層取水	〃
XBS-00	YBS-00	ZBS-00	選択取水	〃
XS-50C	YS-50C		表層取水	循環流量 $50\text{ (m}^3/\text{s)}$ (一定)
XB-50C	YB-50C		底層取水	〃
XS-50Q	YS-50Q	ZS-50Q	表層取水	循環流量 $50\text{ (m}^3/\text{s)}$ ($50>\text{流量}\geq 20\text{ m}^3/\text{s}$ の時)
XBS-50T	YBS-50T	ZBS-50T	選択取水	〃 (流入濁度 $\geq 20\text{ ppm}$ の時)

3. 計算結果と考察

図-1は出水XおよびYについて、それぞれ表層取水あるいは底層取水をしつづけた場合について、ポンプアップによる循環（循環流量 $50\text{ m}^3/\text{s}$ ）を常時行ったときの効果を見たものである。それぞれの図には4つのケースの値が併記されているので一見複雑で見難い図になっているが、○印は流入の値（但し、池表面温度にも○印を用いた）、破線は循環させない場合、実線および一点鎖線は循環させた時のものであり、破線と実線（あるいは一点鎖線）を比較することによって、底層水を循環させた時の効果がある程度うかがうことができよう（なお、横軸の数字は4時間を1単位とした時間単位数であり、目盛りの間隔が1日分に相当する。）すなわち、右側の鉛直分布図を時間を追って見ていけば以下のようなのである。

（1）出水のピーク直後の時点①では躍層が急激に低下する過程を見ることができる。表層取水の場合（破線と実線）、濁度については初期に躍層のあった位置の上にピークを持つ分布形状が、循環流によって躍層が低下し同時に流入水が低温になった結果、ピークの位置が数メートル低下している。底層取水の場合は、循環させなくても同様のことが起るので両者（間隔の大きい破線と一点鎖線）の差はまだそれ程大きくない。

（2）時点②については小規模出水の例を示したが、この時点ではすでに循環流の有無による差異が表層取水、底層取水のいずれの場合も明白になっている。すなわち、循環流によって濁度、水温の両者とも一様化しつつある。ただ、ここで注目すべき点は、底層取水の場合の濁度分布において、循環させた場合（一点鎖線）の方が表層付近の濁度がかなり低いということである。

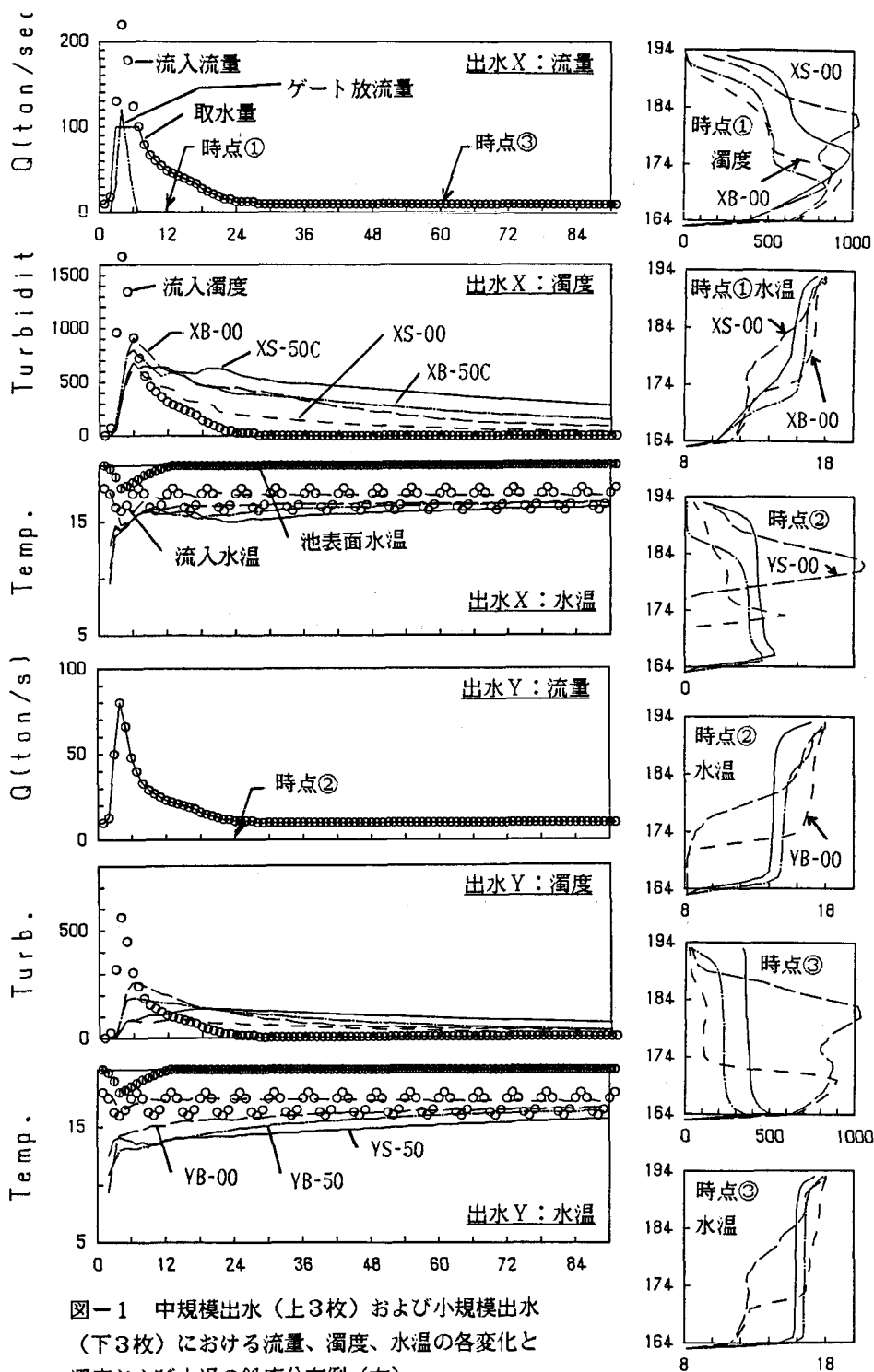


図-1 中規模出水（上3枚）および小規模出水（下3枚）における流量、濁度、水温の各変化と濁度および水温の鉛直分布例（右）

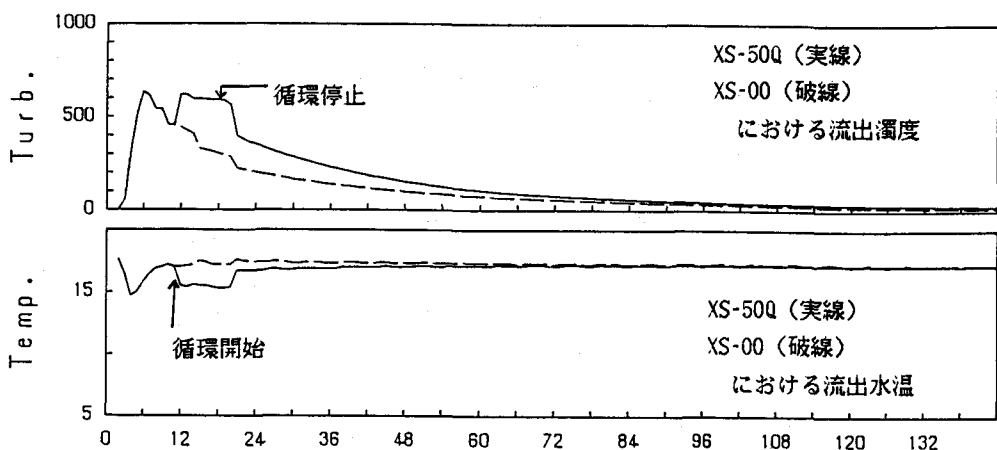


図-2 (1) 中規模出水において表層取水を続けながら循環流を希釈に用いた場合

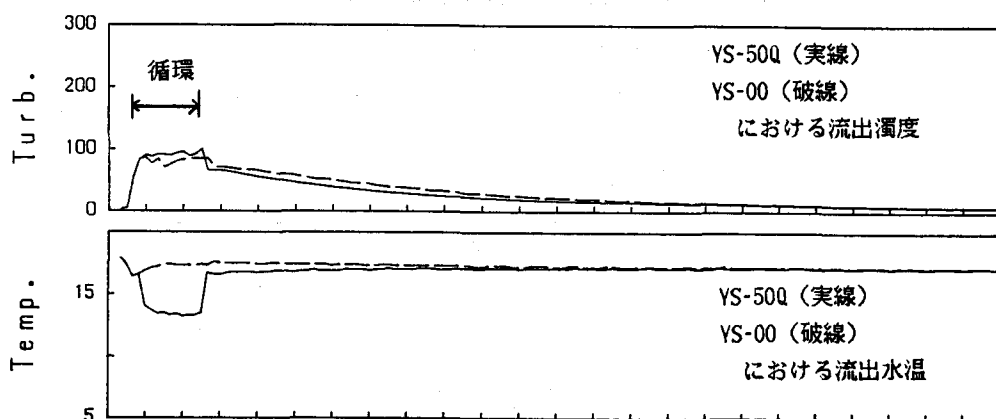


図-2 (2) 小規模出水において表層取水を続けながら循環流を希釈に用いた場合

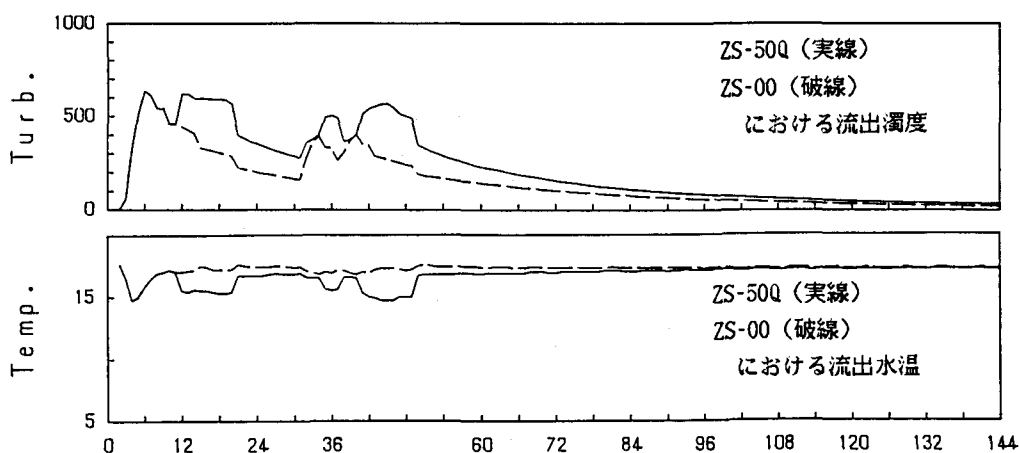


図-2 (3) 2連続出水において表層取水を続けながら循環流を希釈に用いた場合

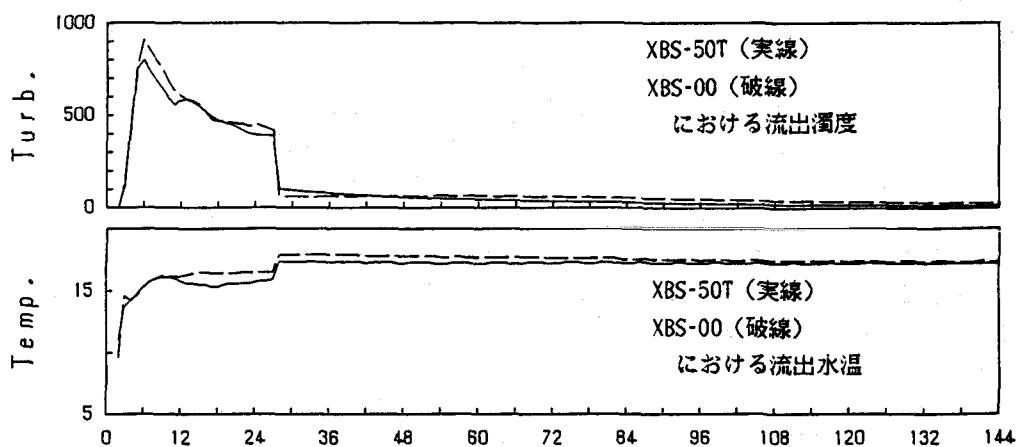


図-3 (1) 中規模出水において底層取水中循環させ表層取水切換時に停止した場合

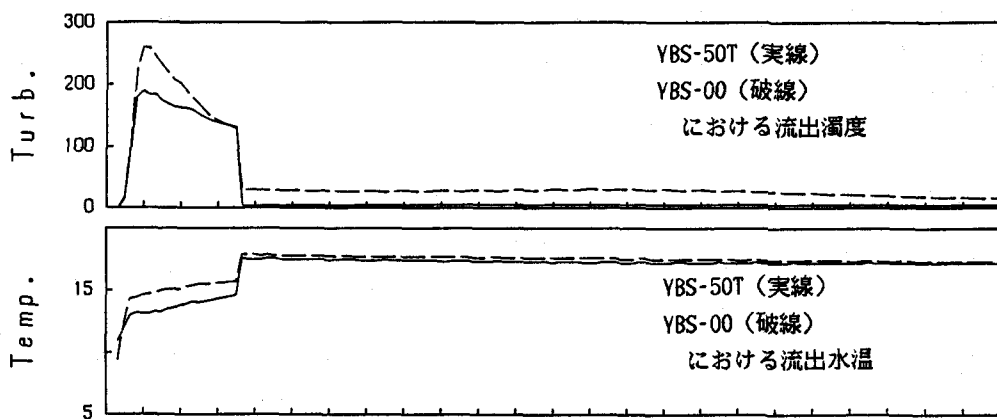


図-3 (2) 小規模出水において底層取水中循環させ表層取水切換時に停止した場合

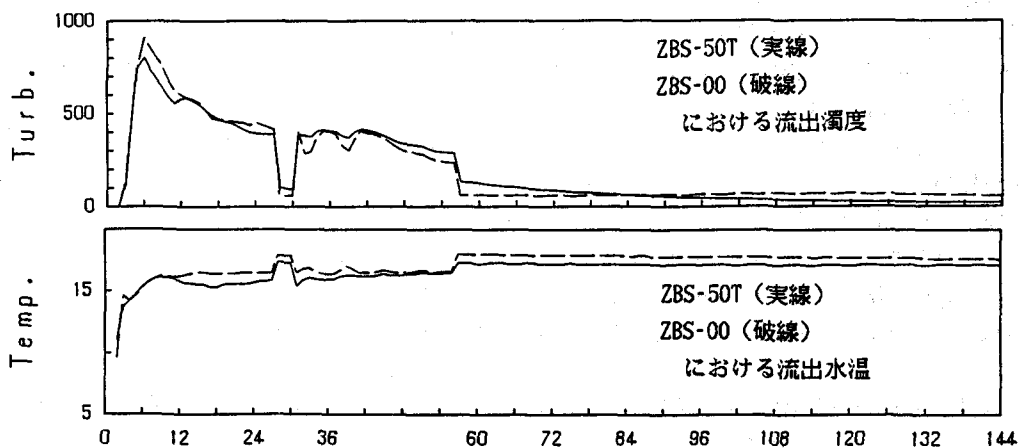


図-3 (3) 2連続出水において底層取水中循環させ表層取水切換時に停止した場合

(3) 時点③は出水末期であるが、この結果から、循環を続ければ池内を攪拌することになり、いわば貯水池内を掃除することがわかる。左側に示した流出濁度はこのことを端的に示しており、出水初期を除けばほぼ全期間にわたって、循環させた場合の方が流出濁度が高くなっている。

以上のことから、底層水を循環させて濁水対策に応用する方法としては以下の3法が考えられる。すなわち、(1) 長期的観点から池内の清掃に用いる。(2) 出水後半に、表層取水されていく濁水の希釈に用いる。(3) 選択取水と併用して、底層取水から表層取水に切替えた時の効果を増強する。

図-2は上記(2)の方法を試みたものである。同図のいずれの場合も常時表層取水が行われている。循環は、循環流量を勘案して希釈効果があると思われる期間にのみ行われている(実線で示された濁度あるいは水温の不連続な変化によってその期間が理解されよう)。ところが同図から分かるように、結果的にはこの方法によって効果が見られるのは小規模出水の時だけである。

図-3は上記(3)の方法を試みたものである。この方法の効果は前出(図-1)の時点②の結果から予想されたが、図-3に見られるように濁水対策上かなりの効果をあげる可能性があることがわかる。濁水対策の困難な点は、比較的低濁度になってから20ppmあるいは15ppm程度以下にすることであり、このことは同図のいずれの場合も、循環させない限り、長期間そうした値以下になっていないことでも理解されよう。循環方式によるこの場合の効果は、流入水が清浄化した時点でいわば第3の(弱い)躍層を用意してやることであり、その結果清浄な流入水はその第3の躍層上をすべるように直接表層取水口へと向かうことになる。この結果生じる流出濁度での改善効果をもう少しクローズアップするため、図-3の2連続出水の末期部分を拡大して示せば図-4のようである。

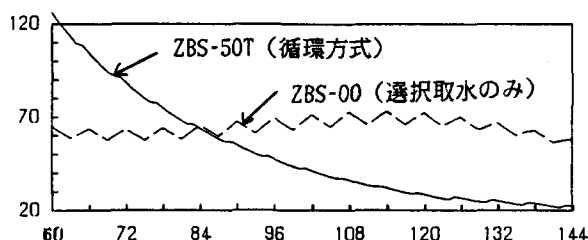


図-4 出水Z末期における流出濁度
(破線が選択取水操作のみの場合、実線が底層水循環方式を併用した場合)

4. 結言

以上、夏期の出水時に底層の清浄な冷水をポンプアップして流入河川水と混合させ強制的に循環流を作ることの効果について試算した結果を示した。条件の設定には無理な点も少なくない。循環流量として設定した $50\text{m}^3/\text{s}$ という値が現実的なものであるかどうかについても未検討である。また、上記(3)に示した方法が、どれ位の出水(規模と回数)に対して効果を持続し得るかという点になると、貯水池の規模と形状に則して詳細な検討が必要となろう。

いずれにしろ目下のところ単なる思いつきの域を出ないものではあるが、清浄な冷水層の他のプールへの逃避や貯砂用副ダムなどが検討されつつある現状を考えると、この方法もまたいま少しつめた検討を行う価値があるように思われる。

なお、本試算にあたりプログラムの改良、結果の図示プログラムの開発などにおいて、本学の浅草 肇教務職員及び木曾祥秋助手の多大なる御援助を賜った。また、タイプ打ち(ワープロ)は片岡三枝子技官ならびに豊橋オフィスサービス(株)の浅沼久見子氏の手になるものである。末尾ながら深甚なる謝意を表したい。

【参考文献】(1) 中村俊六・足立昭平：横山ダム貯水池における濁度現象の長期的変動特性、土木学会論文報告集、第261号、1977年5月