

ヒートポンプと流動制御を用いたダム湖水質保全システム

Use of heat pumps and current control to preserve water quality in reservoirs

丹羽 薫^{*}・久納 誠^{**}・久保徳彦^{***}・古里栄一^{****}

By Kaoru NIWA, Makoto KUNOU, Norihiko KUBO and Eiichi HURUSATO

The authors advocate a current control system to enhance water quality in reservoirs¹⁾ via a combination of dispersed aeration and selective inflow/discharge facilities. Although from spring to autumn the temperature in the surface layer of the reservoir is usually higher than that of inflowing river water, it may drop lower during the rainy season, in cold summers or directly after major flooding. When this happens, turbulent river water heavy in nutrient salts enters the reservoir surface layer, leading to potential eutrophication and long-term turbidity.

This report describes the Water Temperature Control System, designed to enhance water quality in reservoirs by addressing these specific problems. This system regulates the vertical temperature distribution in the reservoir and the temperature of inflowing river water using heat pumps.

Keywords : reservoir, water quality, eutrophication, algae-control method, heat pump

1. はじめに

筆者らはダム湖において、散気管方式の曝気と選択流入・放流設備を組合せた『流動制御システム』により水質を保全できることを示している¹⁾。このシステムは、ダム湖の表層において水温鉛直分布が均一でしかも流入河川水より水温が高い表層を厚く形成させるとともに、河川水がダム湖へ流入する水深及びダム湖から放流する水深を制御することにより、好ましくない藻類の異常増殖を抑制するものである。一般に春季から秋季にかけてダム湖表層水温は流入河川水温より高い。しかし梅雨、冷夏、及び大規模な洪水の直後は流入河川水温に比べてダム湖表層水の方が低くなることもあり、その場合は栄養塩類や濁質に富む流入河川水がダム湖表層に流れ込み、富栄養化現象や濁水長期化現象を招く恐れもある。この問題を解決し、ダム湖の水質保全を図るため、ダム湖の水温鉛直分布と流入河川水温をヒートポンプを用いて制御する『水温分布制御システム』を開発したので報告する。なお本システムを稼働させると夏季において発生する余剰の冷排水をダム湖周辺の地域冷房として利用することも可能である。

* 正会員 建設省土木研究所環境計画研究室 室長 (〒305 茨城県つくば市大字旭1番地)

** 正会員 同室 主任研究員

*** 正会員 同室

**** (株)環境調査技術研究所 技術部

2. 水温分布制御システムの開発

近年ダム湖流域の開発などにより、リン及び窒素等の栄養塩類が過剰に流れ込むために、いくつかのダム湖では湖水の栄養塩類が増加して富栄養化を来している。湖水の栄養塩類が増える結果、好ましくない藻類が異常増殖することになり、アオコやカビ臭等の問題を引き起こす場合もある。

ダム湖の流動を制御することによる水質保全手法は、流入河川からダム湖有光層へ供給される栄養塩類の削減、及び藻類への日射量抑制を目的としたものであり、筆者らは実ダムでの現地実験を実施した^{1) 2)}。そのメカニズムは散気管方式の曝気装置により、水温躍層の位置を好ましくない藻類が発生する有光層よりはるか下に移動させ、栄養塩類を多く含む河川流入水を水温躍層へ導き、選択放流設備により速やかにダム湖内から放流するものである。また、循環混合層を厚くして水温鉛直分布をほぼ均一にすることにより、湖水の密度を均一にして常に上下に混合し易い状態にする。循環混合層が有光層の数倍に至る深度まで存在すれば有光層で生息する藻類は順次有光層の下に深く追いやられることになり、藻類の光合成できる時間を大幅に短くすることにより、藻類の異常増殖を抑制することができる。

一般に春季から秋季にかけてダム湖表層水温は流入河川水温より高いが、梅雨、冷夏、及び大規模な洪水の直後は流入河川水温に比べてダム湖表層水温が同じか低くなることもある。図-1にAダムの流入河川水温とダム湖表層水温を示す。例えば、Aダムにおける平成2年の梅雨は日射量が少ないためにダム湖表層水温が高くなれず、平成元年の9月は大洪水にみまわれてダム湖の水温がほぼ均一な低温になってしまっている。このような事実によると、曝気によって循環混合層を形成させる場合、日射量が少ないと循環混合層全

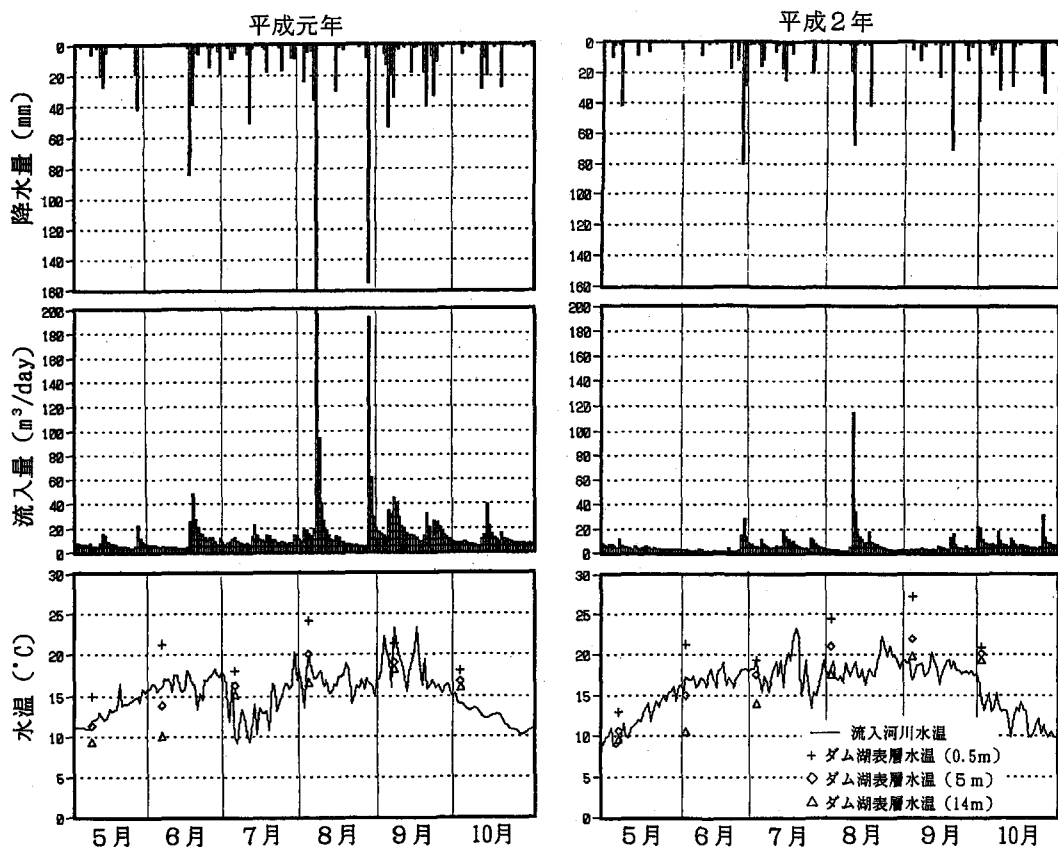


図-1 Aダムでの流水河川水温とダム湖表層水温

体の水温の低下を招くことが予想される。循環混合層の水温が流入河川水温より低い場合は、流入河川水を循環混合層の上層に混入させてしまい、栄養塩類を有光層に供給することになり、アオコや淡水赤潮など好ましくない藻類の異常増殖を招く恐れがある。

図-2に水温分布制御システムの模式図を示す。本システムはヒートポンプを用いることにより、流入河川水や深層の湖水より水熱を取り出し水温を低下させ、日射量だけでは熱量が不足気味の循環混合層の水温

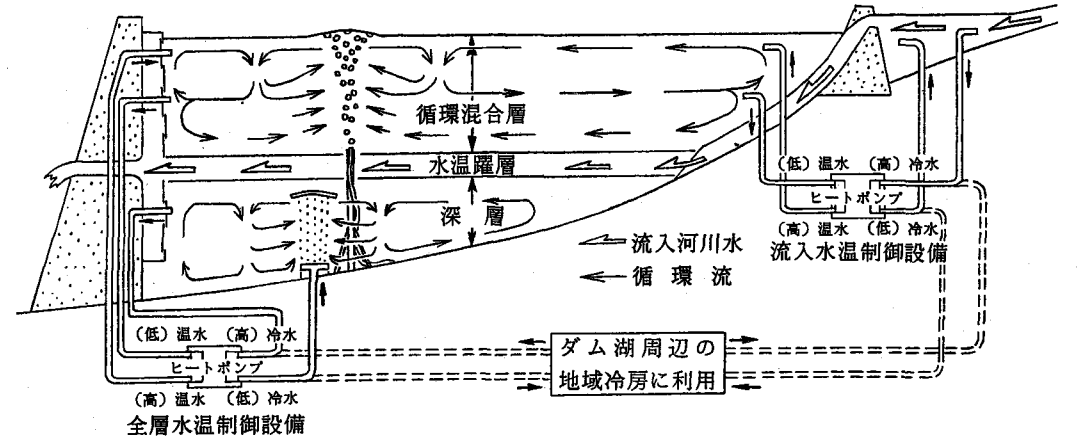


図-2 水温分布制御システムの模式図

表-1 水温分布制御システムの水質保全等の効果

水温の制御	生じる現象	1. 春季	2. 梅雨・冷夏	3. 夏季	4. 洪水直後
循環混合層の水温を平均気温に近づける	水面付近の水温分布が均一となり湖水が混合し易い	—	△アコ対策となる	□一次躍層を破壊できアコ対策となる	◎一次躍層を破壊できアコ対策となる
	下流への放流水温が高くなる	△冷水対策となる場合もある	—	—	—
流入河川水の水温を循環混合層より下げる	栄養塩と濁水を含む流入河川水を水温躍層へ導く	◎淡水赤潮対策となる	◎梅雨・冷夏時のアコ対策となる	□アコ対策となる	◎アコ対策となる
	濁水を含む中小洪水を水温躍層へ導く	○濁水長期化対策となる	○濁水長期化対策となる	□濁水長期化対策となる	○濁水長期化対策となる
深層の水温を下げる	同時に空気混入させ深層に密度流を生じさせる	—	○DOを改善できる	◎DOを改善できる	△DOの悪化を遅らせる
冷排水を地域冷房に利用する		—	△施設冷房に利用できる	◎施設冷房に利用できる	◎施設冷房に利用できる

- ◎；水温分布制御システムにより実現可能な対策手法であり、特に有効なもの
○；水温分布制御システムにより実現可能な対策手法であり、有効なもの
△；水温分布制御システムにより実現可能な対策手法であり、やや有効なもの
□；流動制御システムのみでも実現可能であるが、水温分布制御システムにより補完されるもの

を高めることにより、水質保全の上で理想的な水温分布に制御するものである。深層の湖水より水熱を取り出し、散気とともに流出させると、深層を循環させる密度流が生じるため、散気により溶存酸素を多く含ませた水塊を密度流に乗せて深層の端まで運ぶことができる。水温分布制御システム稼動時における水質保全等の季別の効果を表-1に示す。このように、ヒートポンプを用いてダム湖の水温分布と流入河川水温の制御を十分に行えば、梅雨、冷夏、及び大規模な洪水の直後を問わず循環混合層の水温は流入河川水より高くなり、栄養塩類や濁質に富む流入河川水をより確実に水温躍層へ導けるため、アオコの発生や濁水長期化を概ね抑制できる。

一方、エネルギーの有効利用の観点から、河川やダム湖の水熱エネルギーをヒートポンプにより地域冷房に供給することが望まれている³⁾。しかしながらダム湖にヒートポンプを導入した場合、ダム湖水質に与える影響が不明であった。本研究ではシミュレーション計算により検討を行った結果、ダム湖においてヒートポンプを流動制御と同時に用いた場合は、水質保全と地域冷房とを併用できる事が明らかとなった。

3. 水温分布制御システム稼動時のシミュレーション計算

3.1 計算手法

散気管方式の曝気装置を用いて循環混合層を形成する際の、湖水の流動を再現できる鉛直一次元モデルを説明する。空気量 $3700\text{ }\ell/\text{min}$ 、曝気水深 $15\sim 20\text{ m}$ の場合、曝気装置から 35 m 離れた位置の水平流速の鉛直分布は現地観測及び再現計算の結果、図-3(a)に示す流速分布となることがわかった²⁾。循環混合層の上部及

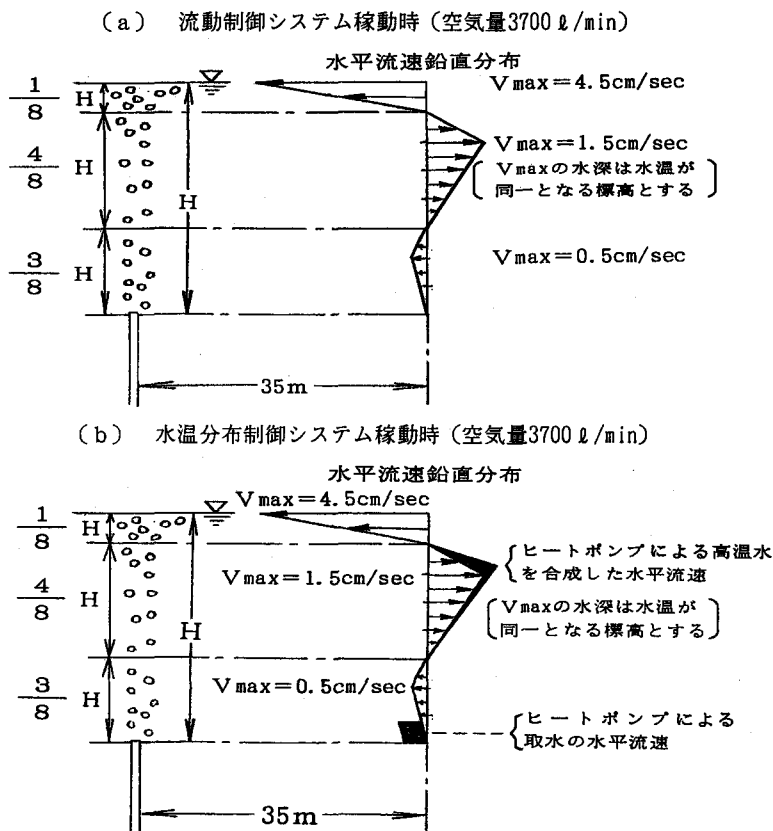


図-3 シミュレーション計算に用いた水平流速分布モデル

び下部の層から湖水を引き寄せ、中央の層へ湖水を押し出す。ただし、曝気装置からダム湖に押し出される水平流速は三角形分布しているものとし、その最大値の水深はダム湖の水温鉛直分布と等しい標高とする。さらにヒートポンプを稼働させ循環混合層の水温を上昇させると図-3 (b)に示すような密度流が新たに生じる。これらの密度流を分割層毎の流出及び流入量に換算した上で、ダム湖水理・水質の数値解析モデルである鉛直一次元モデルに組み込む⁴⁾。

3.2 計算条件

水温分布制御システムは図-2に示すように流入水温制御設備と全層水温制御設備の2種が考えられるが、ここでは前者の設備が稼働するとしてシミュレーション計算を行った。このシミュレーション計算において、流入河川水より水熱を取り出すには、鉛直一次元モデルに流入する河川水温を低下させれば良い。ただし、地域冷房により水熱を取り出す夏季の間は、流入河川水温を低下させるために与える冷熱の量を調節する。

シミュレーション対象は流域面積195km²、湛水面積3.9km²のAダムとし、シミュレーションケースは表-2及び表-3に示すケースとした。シミュレーション期間は、天候の不安定な年であった平成3年4月1日から10月31日までとする。なお洪水時における散気管方式の曝気とヒートポンプの作動及び停止については、流入河川水量が40m³/sec以上になると停止させ、濁度が40度以下になると再開させるものとする。

表-2 シミュレーションのケース

ケース	散気管方式の曝気	選択流入 放流設備	ヒートポンプ	図-4の凡例
未対策	なし	なし	なし	—
流動制御システム稼動時	3700ℓ/minを4台	設置	なし	—△—
水温分布制御システム稼動時	3700ℓ/minを4台	設置	0.84m ³ /sec×10℃を4台	—○—

表-3 シミュレーションの計算条件

項目	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月
循環混合層の 目標厚さ	概ね10m		概ね20m				
冷熱のうち地域 冷房に供する割合	0%		10%	50%	70%	30%	0%

3.3 計算結果

各季別のダム湖水温鉛直分布と流入河川水温のシミュレーション結果を図-4に示す。流動制御システムのみを稼働させると、春季、梅雨、洪水後においては流入河川水は曝気水深より浅い標高に導かれることがわかる。しかし水温分布制御システム稼動時は流動制御システム稼動時に比べ、春季、梅雨、洪水後にもかかわらず、流入河川水を曝気水深より下の概ね20mの水深に導くことができることがわかった。

4. まとめ

- (a)ヒートポンプを流動制御と併用してダム湖の水温鉛直分布と流入河川水温を制御する『水温分布制御システム』は、春季、梅雨、冷夏、洪水後でも流入河川水を確実に曝気水深より下の水温躍層へ導くことができ、ダム湖の富栄養化現象や濁水長期化現象に対してより有効な水質保全手法となる。
- (b)水温分布制御システム稼動時における水温及び濁度のシミュレーション計算手法を構築した。

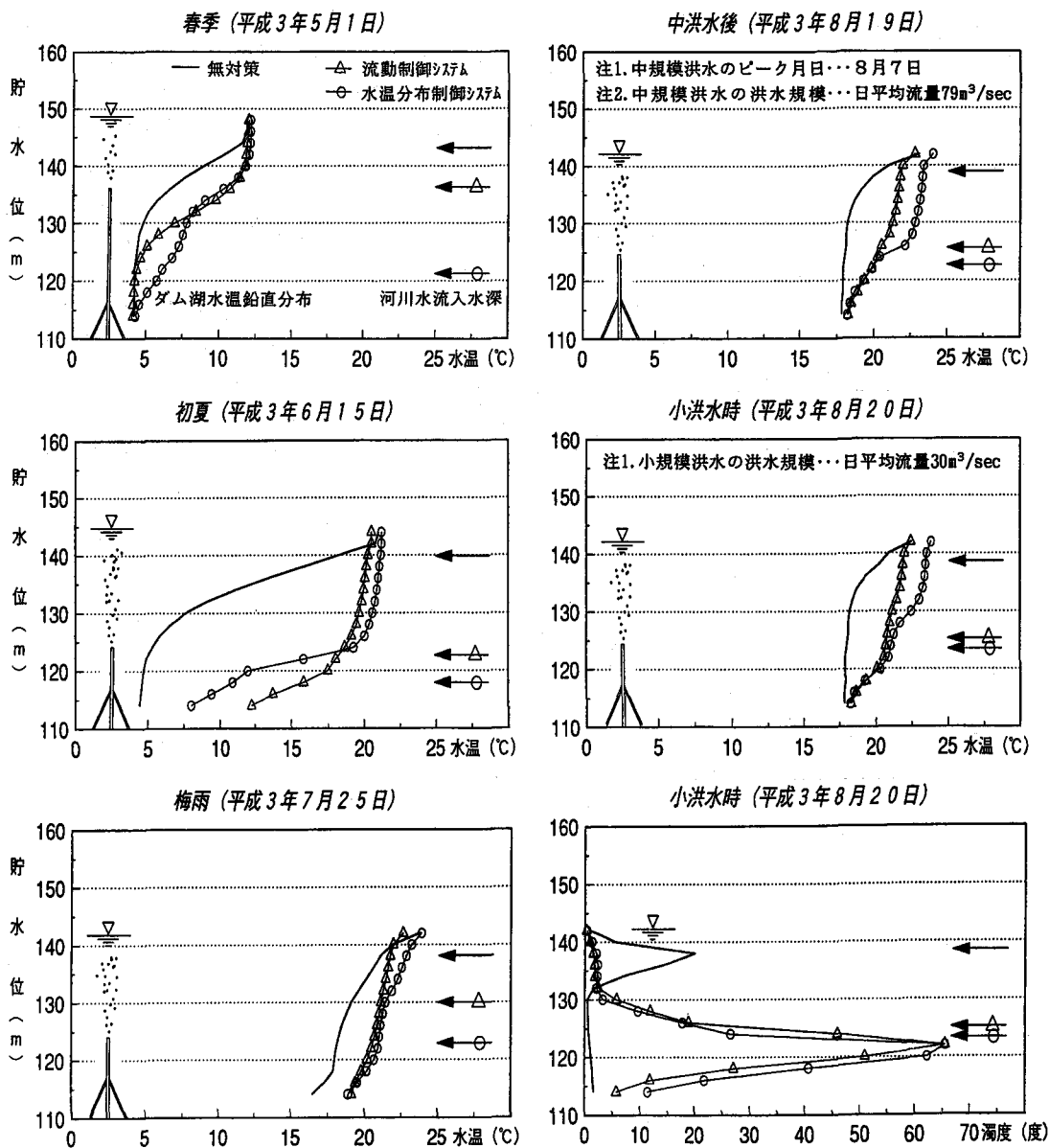


図-4 ダム湖水温度鉛直分布と河川水流入水深のシミュレーション結果

参考文献

- 1) 丹羽薫・久納誠・大西実・山下芳浩；貯水池流動制御による水質保全対策、土木学会水理委員会水工学論文集、第37巻、1993
- 2) 丹羽薫・久納誠・久保徳彦・山下芳浩；流動制御によるダム湖の水質保全技術の開発、土木技術資料35-11、1993
- 3) (財)ダム水源地環境整備センター編；ダム熱エネルギー利用指針(案)、1992
- 4) 森北佳昭・天野邦彦；貯水池水質の予測・評価モデルに関する研究、土木研究所報告、第182号-1、1993