

46. ダム貯水池水を熱源利用した場合の貯水池水質に与える

影響等に関する研究

A STUDY ON INFLUENCE OF USING DAM RESERVOIR WATER AS THERMAL RESOURCES UPON THE WATER QUALITY OF THE RESERVOIR

福壽真也* ・ 野中昭彦* ・ 川除隆広* ・ 斎藤貴裕*

Shinya FUKUJU, Akihiko NONAKA, Takahiro KAWAYOKE, Takahiro SAITO

ABSTRACT; In this study, the performance of water quality of a dam reservoir near a city area was predicted by the one-dimensional multi-layer model for the case where water of a reservoir was hypothetically utilized as thermal resources for a district heat supply project. Also investigated was the degree of the influence against water environment. As a result, there was no tendency that the multiplication of algae was higher by the hot drainage in summer time with the presently set up scale of using water. Overall, it can be concluded that a current level of water quality will be maintained under such a using condition. Based on these results, the authors investigated ways to utilize thermal energy of water and to improve water environment of dam reservoir in order to promote using water in a reservoir as thermal resources.

KEYWORDS; dam reservoir, thermal energy of water, prediction water quality, heat pump

1. はじめに

近年、河川水、下水、ダム貯水池水等の未利用の水熱エネルギーを地域熱供給事業等の熱源として利用されている。この背景としては、近年のヒートポンプ技術等の進展に伴いこれらを活用することが技術的・経済的に可能となってきたことにくわえ、水熱エネルギーの活用は、エネルギー利用の効率化ならびに大気環境の対策上有効と考えられるためである。

一方、水熱エネルギーを利用した場合、夏期には温水が、冬期には冷水が排出されるため、利用する水域の環境に十分に配慮する必要がある。

このような観点から本研究では、市街地に隣接したダム貯水池を対象に、仮想的に貯水池水を地域熱供給事業の熱源とした場合の貯水池水質変化を一次元多層モデルにより予測し、水環境に与える影響の程度を検討した。また、この結果等を踏まえ、貯水池水熱エネルギーの活用方策、利用促進のための水環境改善のあり方等を検討した。

2. 熱源としてのダム貯水池水の活用事例

国内において、ダム貯水池水を熱源利用している例は少ない。その原因としては、ダム貯水池は、熱需要がある市街地からはなれている場合が多いことが主たる要因と考えられる。

ここでは活用事例の一つとして北海道芦別市の滝里ダムの例¹⁾を紹介する。

* ; 株式会社 日建設計 土木事務所 環境計画室 Environmental Engineering Group, Civil Engineering Office, NIKKEN SEKKEI LTD.

滝里ダムは昭和 58 年度より建設事業中の多目的ダムであり、平成元年度よりダムヒートポンプ活用事業により、ヒートポンプの設置を進めている。

設置の目的としては、積雪寒冷地に位置しているので、管理棟内の暖房、橋梁、道路、駐車場等が凍結するのを防ぐための融雪、近くにあるリゾート施設への冷暖房、給湯を行っている。ヒートポンプに使用する水は貯水池深層水（水深 30 m にあり、水温は年間 4～5℃ でほぼ一定、-3℃ を下回る冬期平均気温よりも高い）を汲み上げており、管理棟の夏期の冷房にはこの冷水をそのまま用いる予定である。

貯水池では夏期に赤潮が発生し、上水道の取水に悪影響を与えることがある。そこで、貯水池深層から汲み上げた冷水を夏期には貯水池表面にスプリンクラーで散水し、水温を低下させることによって、赤潮原因藻類の増殖を制御することを試みる予定である。

また、ヒートポンプと在来型であるボイラーをそれぞれ使用した場合の経済比較を行った結果を表 2-1 に示した。最初に投資する設備費は在来型に比べヒートポンプの方が 15% 増となるが、逆に運転経費は 60% 減となり、単純に設備費の増分を毎年の運転経費の減分で賄うとすれば、2.6 年分でカバーすることとなり、経済性の観点からかなり有利なエネルギーであることが理解できる。

表 2-1 滝里ダムの諸元と熱利用の条件、経済性¹⁾

流域面積	A=1,662 km ²	平均水深	H=12.5 m
有効貯水容量	V=85,000×10 ³ m ³	成層形成	有
湛水面積	A=6.8 km ²	事業者	北海道開発局
熱源利用	①ダム管理所の冷暖房 (A=1,300 m ³) ②橋梁、道路、駐車場の融雪 ③ゴルフ場クラブハウスの冷暖房 (A=3,000 m ³) 冷熱需要量=0.43Gcal/h 暖熱需要量=1.33Gcal/h		
経済比較		ヒートポンプ	ボイラー加熱
	設備費	2.4 億円	2.1 億円
	運転費	≒900 万円	≒2,100 万円

3. ダム貯水池を熱源利用した場合の水環境に与える影響について

ダム貯水池や河川水を熱源利用した場合、夏期には温水が、冬期には冷水が排出されるが、放流先の水環境に与える影響については当然のことながら放流先の水域の規模、水理特性、温排水の温度、水量等によって異なる。これら温冷排水の放流が水環境に与える影響機構および考慮すべき項目については温排水の場合が特に問題となり、図 3-1 に示す要因が考えられる。これら水温変化に伴う水環境の変化機構を整理するとつぎのようになる。1) 水温の上昇に伴う成層状態の変化、2) 成層状態の変化に伴う水質分布の変化、3) 水温の上昇に伴う水質反応速度の変化、4) 水質、水温の変化による生物への影響(生産力の変化、現存領域の変化、種構成の変化、藻類増殖の活性化→富栄養化の進行等)

このような、ダム貯水池における水温変化に伴う水環境変化の予測および評価については、水温、水質については、近年各地のダム貯水池に適用されている数値モデルにより定量的な取扱いが可能である。一方、水温、水質変化が魚類などの生物へ与える影響については、現行では定量的評価が困難であり、水熱エネルギー利用を検討する場合の課題の一つとなっている。

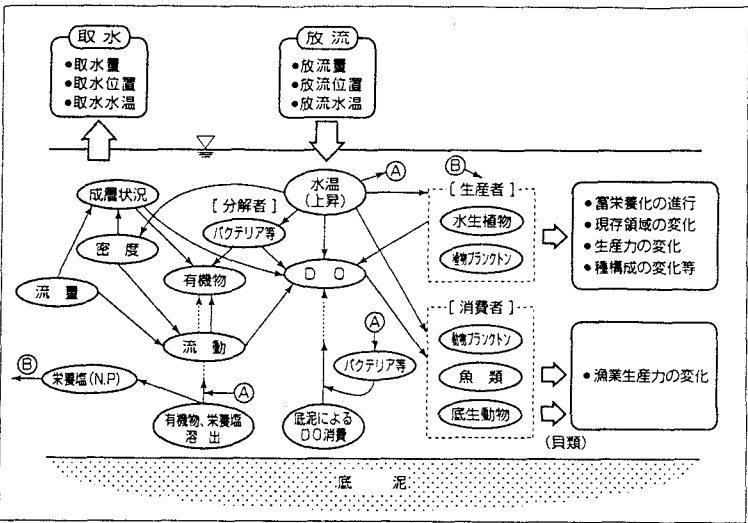


図 3-1 温排水放流が水環境に及ぼす影響機構と考慮すべき要因

4. ダム貯水池水を熱源利用した場合の水温・水質変化のケーススタディ

市街地に隣接するAダム貯水池を例にとり、貯水池水を仮想的に地域熱供給事業の熱源として利用した場合の貯水池水温、水質の変化を一次元多層モデルにより予測した。

4. 1. 予測条件

水温、水質の予測に用いたモデルは、一次元多層モデル²⁾であり、基礎式は・水の連続式、・運動量保存則、・水温保存則ならびに濃度収支則で構成され、植物プランクトンの消長を中心とした貯水池内の主要水質反応を取扱いうるものであり、水理流動と水質挙動を流下方向と水深方向の二次元的に予測できるものである。

熱源利用条件は表4－1に示すとおりであり、貯水池水の取排水位置を図4－1に示した。また、取水については、冷房用の水としてはできるだけ低い水温が望ましいことから、貯水池の利用最低水位（常満時で水深 41 m）から取水するものとした。対象とした流況は当ダム貯水池における平水流況に相当する昭和 63 年とした。また、利用規模の差による貯水池水温、水質の変化を検討するため、表4－1に示す2ケースを設定した。

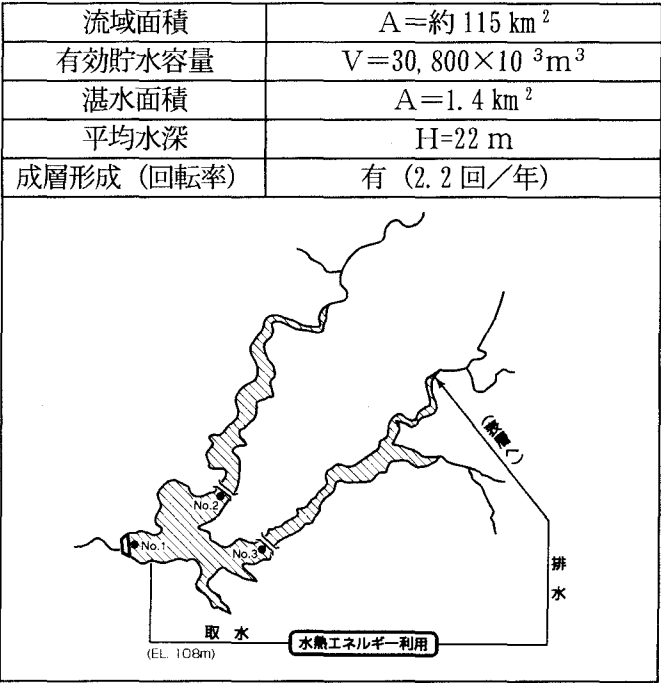


図4－1 Aダム貯水池諸元と熱源水の取排水位置

表4－1 予測ケースと熱利用条件等

ケース名	利用水量	利用温度差	熱 需 要 条 件 等
基準ケース	－	－	・ 水熱利用なし（比較対照ケース）
ケース 1	Q=0.08 m ³ /s	・ 冷房，暖房ともに Δ t =5℃	・ 冷房期間 5～9 月：冷熱需要量：1. 0Tcal／年 ・ 暖房期間 12～3 月：温熱需要量：0. 5Tcal／年
ケース 2	Q=0.80 m ³ /s	・ 同 上	・ 上記の熱需要が仮に 10 倍になった場合を想定
・ 対象水文年次（昭和 63 年）：平水流況相当を対象 ・ ケース 1 の熱需要は延床面積約 1 万 m ² 程度のホテルの需要に相当する。			

4. 2. 予測結果および考察

前項の予測条件および予測ケースにもとづき、貯水池水を熱源利用した場合の貯水池水温、水質の変化を予測した。図4－2には各ケースにおけるダムサイト表層水質の予測結果を、図4－3には水質鉛直分布の予測結果の一例を示した。

- ①まず、冷房期間についてみると、初期の 5～6 月においては温排水の下流に位置する No. 2 地点で水温がやや低くなる傾向が認められた。これは、同時期では取水水温が流入水温よりも相当低く、5℃の水温上昇があっても排水温度が低いことによるものであるが、その低下幅はケース 1 の取水規模では 1℃程度である。
- ②その後は、出水によって躍層が低下し取水地点の水温が上昇したため、図4－2に示すように No. 3 地点では温排水によって水温がやや上昇し、その影響はダムサイトまで及んでいる。ただし、ケース 1 では最大で 1℃程度の上昇であり、取水量を 10 倍にしたケース 2 でも最大で 2℃弱の上昇となっている。
- ③一方、この水温上昇による植物プランクトン（クロロフィル a）の状況をみると、図4－2および4－3に

示すように現存量がやや増加し、それに伴ってCOD、栄養塩濃度も上昇する傾向が認められるが、その程度は小さい。

④また、暖房期間については、循環期であることから、冷排水による水質変化はほとんど現れない予測結果となっている。

以上のように、今回仮想的に設定した熱源利用規模と貯水池規模との関係であれば、貯水池水質に与える影響は軽微であり、概ね現状の水環境を維持するものと推察され、同様の熱源利用を行う場合の影響検討の参考例になるものと考えられる。

なお、ケース1の水熱エネルギー利用を行った場合の省エネルギー効果（従来システムとの差）については、一次換算エネルギーで約0.3Tcal/年（A重油200Lドラム缶約134本分相当）と試算された。

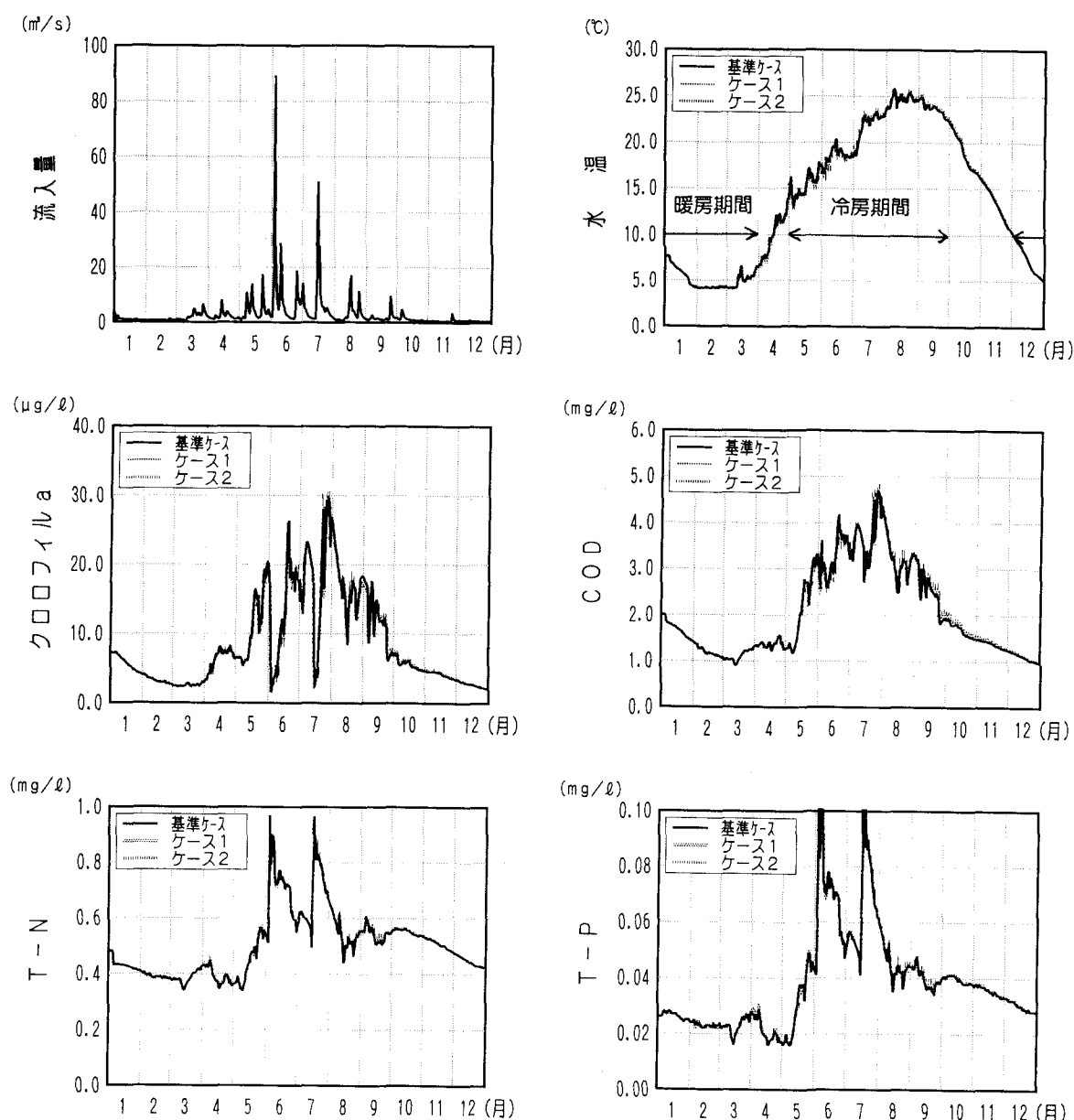


図4-2 各ケースにおけるダムサイト表層水質の予測結果（地点No. 1）

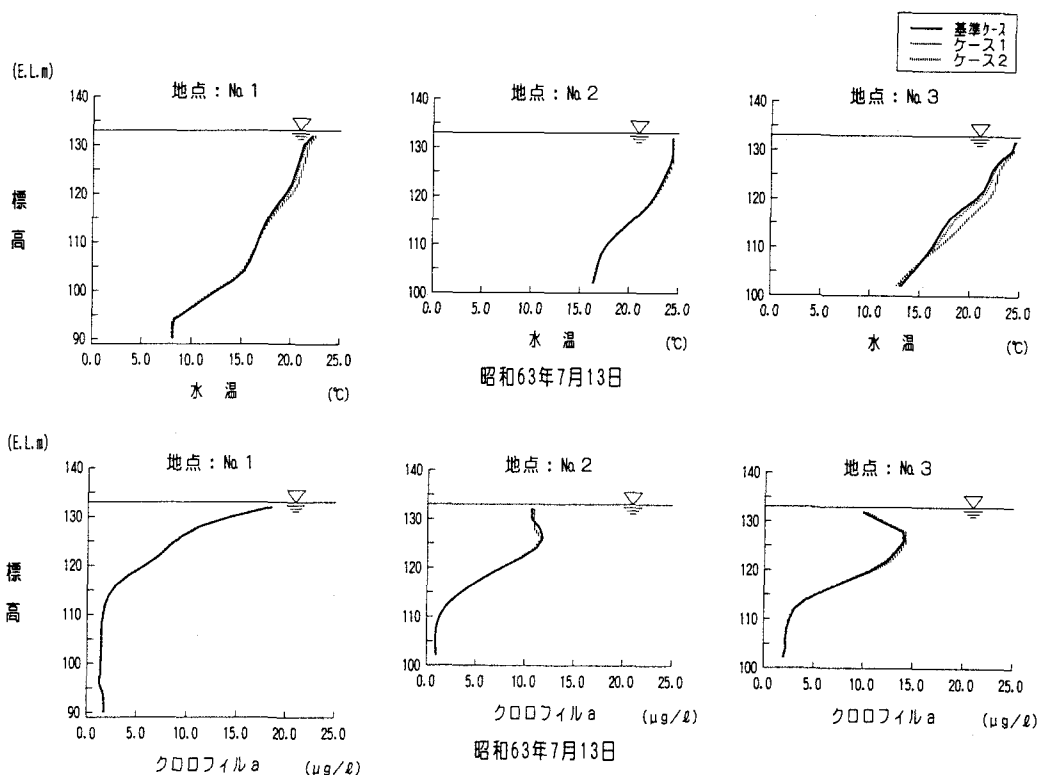


図4-3 各ケースにおける水質鉛直分布予測結果の一例（夏期）

5. 貯水池水熱エネルギーの活用方策と利用促進のための水環境改善について

5.1. 貯水池水熱エネルギーの活用方策

一方、ダム貯水池の水熱エネルギーとしての活用用途については、以下のものが挙げられ、ダム管理者も積極的にダム管理施設等への活用を進めることが望まれる。

- 1) ダム管理施設への利用（管理所の空調・給湯，管理橋梁・管理道路等の融雪 等）
- 2) ダム貯水池周辺リゾート施設，公共施設等への利用
- 3) その他ダム貯水池周辺施設への利用（温室・青果物冷蔵庫の熱源，一般道路・駐車場等の公共スペースの融雪，冷水魚・温水魚の養殖用水としての活用 等）
- 4) ダム貯水池水質改善方策への活用（貯水池内の水温制御による富栄養化進行の抑制）

なお、これらについては、当然のことながら熱需要と供給が地理的，熱量的に合致することが前提である。

5.2. 利用促進のための水環境改善について

ダム貯水池を水熱エネルギーとして活用する場合、貯水池水の水質が大きな制約の一つとなる。河川水では過去に大阪市内を流れる土佐堀川の水を用いたヒートポンプの設置が行われたが、水質上の問題から稼働が不可能となった例もある。このため、水質が改善し使用上の障害が除かれ、かつダム貯水池水が容易に確保できるならば需要側の活用要望は極めて大きいものと考えられる。

ダム貯水池水の利用上、水質が大きな問題となるのは熱交換部におけるスライムの発生、夾雑物による閉塞等による熱交換効率の低下、さらには金属の腐食等である。

熱交換器に使用する水の水質基準³⁾については（社）日本冷凍空調工業会が定めている冷却水水質基準がある。これを表5-1に示した。水質項目は基準項目と参考項目について定められており、基準項目についてはどれか一項目でも基準値を越えると数シーズンで熱交換器に障害が発生する恐れがあるとされている。

また、参考項目は短期間で金属を腐食するイオン等について定められている。ダム貯水池において水熱エネルギーを活用する場合、利用上考慮しておかねばならない項目は、1) 水質的には熱交換器において、スライムを発生させないために栄養塩濃度を低下させる、2) また、動・植物プランクトンの増殖を抑制する、3) 流木等の浮遊性ゴミの流下についても適切な対応策を実施する、4) 夏期成層期における底層部での還元的雰囲気防止、等である。これらの事項は、水熱エネルギーの活用を可能とするためのみならず、貯水池の水質保全上も対処すべき課題であり、各課題について適切な対策の検討が望まれる。

6. おわりに

ダム貯水池などの水熱エネルギーを活用することは、エネルギー消費量を削減でき、その結果CO₂やSO_x、NO_x等の排出抑制にも寄与することが可能であるが、利用水域の水環境に対する影響を十分に検討する必要がある。

本研究で示したように、水温、水質については、数値シミュレーションモデルによりある程度定量的評価が可能であるが、魚類などの生物

への影響については現行では定量的評価は難しく、水熱エネルギー利用促進の観点から、その評価方法の確立が望まれるところである。

参考文献

- 1) 河崎和明：未利用エネルギーの活用で住みよい高機能なまちづくりを，設備と管理，Vol. 25, No2, 37-41, 1991
- 2) 松尾直規：貯水池における水温・濁度ならびに富栄養化指標の予測に関する水理学的研究，京都大学博士論文，1982
- 3) (社) 日本冷凍空調工業会標準規格：冷凍空調器用水質ガイドライン（JRA-GL-02-1994）

表 5 - 1 冷却水の水質基準³⁾

項 目	循環水	傾 向	
		腐食	スケール
基準項目	p H(25℃)	6.5～8.2	○
	電気伝導率(25℃) (m S / m)	80 以下	○
	塩化物イオン (mg Cl ⁻ / L)	200 以下	○
	硫酸イオン (mg SO ₄ ²⁻ / L)	200 以下	○
	酸消費量(p H 4.8) (mg C a C O ₃ / L)	100 以下	○
	全硬度 (mg C a C O ₃ / L)	200 以下	○
	カルシウム硬度 (mg C a C O ₃ / L)	150 以下	○
	イオン状シリカ (mg SiO ₂ / L)	50 以下	○
参考項目	鉄 (mg Fe / L)	1.0 以下	○
	銅 (mg Cu / L)	0.3 以下	○
	硫化物イオン (mg S ²⁻ / L)	検出されないこと	○
	アモニウムイオン (mg NH ₄ ⁺ / L)	1.0 以下	○
	残留塩素 (mg Cl / L)	0.3 以下	○
	遊離炭素 (mg CO ₂ / L)	4.0 以下	○
	安定度指数	6.0～7.0	○