

火力発電所の温排水を利用した貧酸素水塊の改善に関する研究

豊橋技術科学大学建設工学系 ○村田 葵
豊橋技術科学大学大学院 小林義明
豊橋技術科学大学建設工学系 正会員 青木伸一

1. はじめに

内湾や湖といった閉鎖性水域では、慢性的な富栄養化に伴う底層水の貧酸素化が深刻な問題となっているため、魚貝類や底生生物の激減により膨大な漁業被害に発展する恐れがある。しかし夏季に発生する大規模な貧酸素水塊を解決する決定的な打開策がないのが現状である。本研究では、火力発電所の冷却水として水深 6.5m から取水され、周囲水より 7℃ 水温が高くなっている温排水を利用して、底層の貧酸素水塊を改善することを目的としている。現地の取水・放流水に関する基礎的な調査を行った上で、放流水の利用法を提案し、その方法の有効性の検討を模型実験により行った。その際、鉛直方向においての放流水の拡散状況についての検討を行った。

2. 実験概要

調査は取水口、放水口、その中間地点で行った。調査日は、6 月 21 日、8 月 10 日、9 月 27 日である。その現地調査の結果を踏まえて実験を行った。実験水槽は、幅 2.00m、奥行き 0.10m、高さ 0.75m の水槽である。その端に放水するためのスペースを、幅 0.255m、奥行き 0.09m、高さ 0.5m 設けた。使用した実験装置を図 1 に示す。

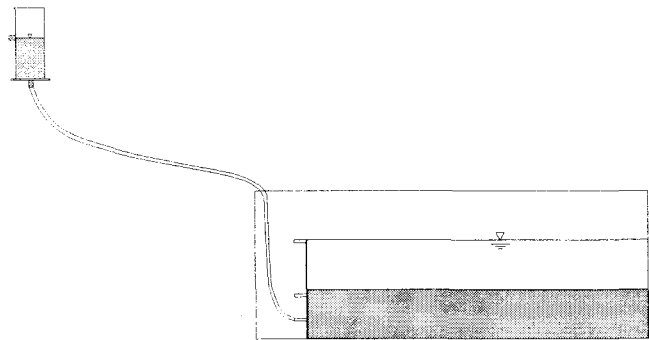


図 1 実験装置

水槽に放水口を設け、放流水による密度差のある 2 層の混合について、実験を行なった。現地調査結果より、実験での上層と下層の密度差を決定

した。現地においての上層と下層では約 2psu の塩分差があることがわかったので実験での塩分差は 2psu とした。放流水については、温排水として放流され、下層の密度よりは軽いと考えられるので、実験における放流水の塩分は 1psu とした。放水時間は放流水が壁に着くまでとした。本研究においての実験条件を表 1 に示す。

表 1 実験条件

	Case1	Case2	Case3	Case4	Case5	Case6
上層塩分 (psu)	0					
下層塩分 (psu)	2					
放流水塩分 (psu)	1					
ホース径 (m)	0.009					
流量 Q_m (m ³ /s)	0.00002467					
放水口断面積 (m ²)	0.000064	0.000038				
流速 (m/s)	0.388	0.641				
放水口位置	底	底	底	境界	底	表面
放水口向き	真直ぐ	真直ぐ	真直ぐ	下向き	上向き	下向き

3. 実験結果

(1) 密度分布

図 2 に示すものは Case1 であり、初期値とほぼ同じ密度層になり、放水後も混合されていない。Case2 においては、流速が約 2 倍になったがほぼ同じ結果が得られた。Case3 では放水口を上に向けて密度成層の境界面に放水した。Case1、Case2 と比較すると上層での混合が見られ、真直ぐ放水するよりも境界面に放水の方が密度成層を破壊するには効果的と考えられる。しかし、上層では混合しているが、下層ではあまり変化がなかった。Case4 では、境界面に放水したが境界面前後でしか混合されなかった。ここで、Case5 では下層の密度が重い塩水をより多く上層へ移動させるために、放水口にパイプをかぶせた。結果、Case3 とあまり変わらない結果となった。密度の重い塩水を上昇させることは効果的ではあるが、上層に噴き出す際に混じりあい、下層よりも軽く上層よりも少し重い塩水になるのでやはり境界面に溜まってしまうと考えられる。よって、Case6 では、逆に上層の密度の軽い水を下層の密度の重い塩水へ、パイプを用いて放水した。下層の密度は Case4、

Case5と比較すると小さくなり、他のCaseよりも効果的であると考えられる。Case6の密度分布を図3に示す。

(2) 交換量

下層での塩分収支より、上層と下層での交換水量を算出した。Caseごとに算出した交換水量 V_{12} 、 V_{21} を表2に示す。ここで、Caseごとに流入量 V_0 が異なるため、流入量 V_0 で割り無次元化している。Case1とCase2においてはマイナスとなったため考察をしないこととする。

表2 各Caseにおける交換量

	V_{12}/V_0	V_{21}/V_0
Case1		
Case2		
Case3	0.551	1.551
Case4	0.331	1.331
Case5	0.527	1.527
Case6	0.825	1.825

(3) 酸素供給量の評価

上層と下層の溶存酸素濃度に、下層より大きく上層より小さい溶存酸素濃度を流入させ、酸素供給をどの程度期待できるのかを見積もった。その効果を見積もるために指標として、酸素消費速度 D を仮定して、水底面積を算出した。

(2)で算出した交換水量 V_{12} 、 V_{21} を用いた溶存酸素濃度の収支より、溶存酸素濃度の収支は次式となる。

$$A = \frac{V_0 \left(DO_0 + \frac{V_{12}}{V_0} DO_1 - \frac{V_{21}}{V_0} DO_2 \right)}{D} \quad (1)$$

ここで、 DO_0 は流入水の溶存酸素濃度、 DO_1 及び DO_2 は上層及び下層の溶存酸素濃度、 D は水底での単位面積当たりの酸素消費速度、 A は底面積とする。 $V_0 DO_0$ は取水した水を曝気して放水する量、 $V_{12} DO_1 - V_{21} DO_2$ は上下間での交換水量を意味する。

DO_0 、 DO_1 、 DO_2 は現地の溶存酸素濃度と照らし合わせ与えた。 DO_0 は3ppm、 DO_1 は8ppm、 DO_2 は0.5ppmとした。ここで、酸素消費速度 D は $1\text{g/m}^2/\text{day}$ と仮定した。

表3 底面積

	$A(\text{m}^2)$
Case1	
Case2	
Case3	66821.353
Case4	50190.824
Case5	65054.868
Case6	87545.912

各Caseの底面積を表3に示す。Case3は境界面に垂直に放水したものであり、塩分の交換量と同様、境界面に直接放水するCase4よりも効果的であると言える。またパイプを用いたCase5とCase6はより効果的である。特にCase6は最も効果があり、約 $300 \times 300 \text{m}^2$ の範囲で酸素供給出来ると考えられる。ここで、効果があったCase6において放流水を曝気して放水すると何倍の効果が得られるのかを考える。8ppmを放水したとすると、底面積 A は 137946m^2 となり、約1.6倍の効果が得られることがわかった。

4. 結論

密度の境界面に垂直に放水すると、密度成層が破壊できる可能性が高い。また、パイプを用いることにより、上下層の交換量は多くなり混合させることが出来る。本研究では塩分濃度収支、溶存酸素濃度収支よりパイプを用いたCase6が最も混合に効果的であると考えられる。また、曝気させた放流水を放出すると約1.6倍の効果が得られる。

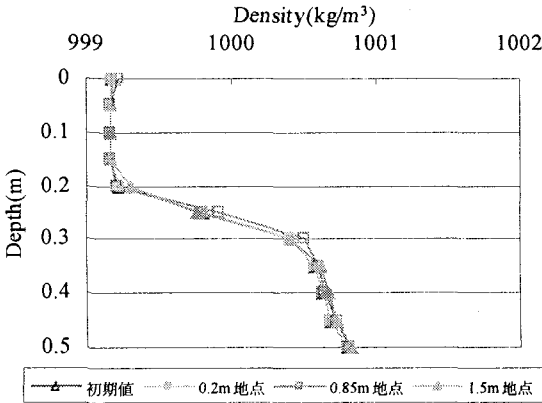


図2 Case1の密度分布

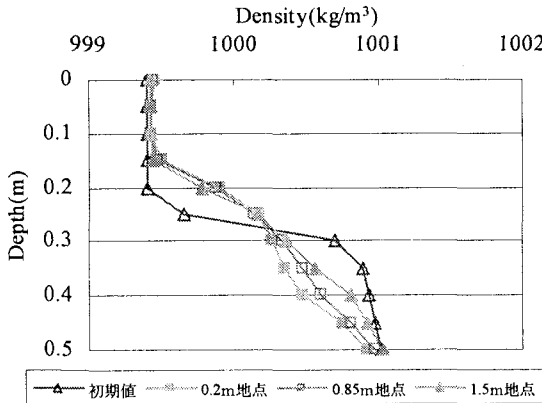


図3 Case6の密度分布