

発電所冷却水の取水口位置の相違による 内湾の水質改善効果の比較

松 梨 史 郎*・角 湯 正 剛**

1. はじめに

閉鎖的な湾は、産業排水や生活排水の流入に伴ってその水質が悪化し、窒素・リンの環境基準や排水基準が制定され、水質改善対策が早急に望まれている。一方、発電所の冷却水取放水による流動を積極的に利用して、湾内の海水交換効果を促進し、閉鎖的な湾の水質改善を行うことが考えられる。

取放水による海水交換や水質改善に関しては、取放水による湾内物質の排出効果の検討や、生物・化学的な変化過程を伴った物質の海水交換効果等の、検討すべき課題がある。

これまでに取放水による水質改善については、取水による海水交換率の増大に関するシミュレーション(角湯ら, 1982; 宮本ら, 1983)や、発電所運転開始前後のプランクトン種の変化に関する観測があるが、水質の変化についての定量的な検討例は見あたらない。

著者らは、海水交換と水質の関係および発電所冷却水の取水を利用して、湾内から取水し湾外へ放水する場合について、実海域でのケーススタディに基づく定量的な検討を行った(松梨ら, 1994)。

本研究は、これに引き続き、取水口の位置による水質改善効果の相違について定量的な検討を行ったものである。

2. 検討方法

本研究では、取水による水質改善効果を、取水を行っていない自然湾に取水設備を仮想的に設け、流動・水質予測モデルを適用することによって検討した。

検討の対象とした湾は、三重県磯部町の的矢湾である。図-1に同湾の地形および調査測定点を示す。同湾は、太平洋に面し、大別して湾奥部から伊雑浦、水道部、渡鹿野島近海、的矢港から成る、やや複雑な形状を呈した湾である。

まず同湾において四季に亘る流動・水質調査およびその再現計算を行った。流動計算に用いたモデルは、鉛直

方向に静水圧近似を用いた準3次元モデルである。

以下にモデルの基礎式を示す。

$$\frac{\partial u}{\partial t} + \frac{\partial u^2}{\partial x} + \frac{\partial uv}{\partial y} + \frac{\partial uw}{\partial z} = -\frac{\partial P}{\rho_0 \partial x} + A_H \nabla^2 u + A_z \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} + fv \dots\dots\dots (1)$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} + \frac{\partial uv}{\partial x} + \frac{\partial v^2}{\partial y} + \frac{\partial vw}{\partial z} = -\frac{\partial P}{\rho_0 \partial y} + A_H \nabla^2 v + A_z \frac{\partial^2 v}{\partial z^2} - fu \dots\dots\dots (2)$$

$$0 = -\frac{\partial P}{\rho \partial z} - g \dots\dots\dots (3)$$

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} = 0 \dots\dots\dots (4)$$

ここに u, v, w : それぞれ x, y, z 方向の流速, P : 圧力, A_H, A_z : それぞれ水平方向・鉛直方向の渦動粘性係数, ρ : 密度, ρ_0 : 基準密度, f : コリオリ係数である。メッシュ分割は水平方向が 25~100 m, 鉛直方向が 1~2 m とした。また渦動粘性係数は水平方向を $10^4 \text{cm}^2/\text{s}$, 鉛直方向を $50 \text{cm}^2/\text{s}$ とした。

水質計算に用いたモデルは、クロロフィル a (Y), 動物プランクトン (Z), リン酸態リン (P), 有機態リン (D), 全リン (TP), 溶存酸素 (O) の時間変化を計算するものである。

以下にモデルの基礎式を示す。

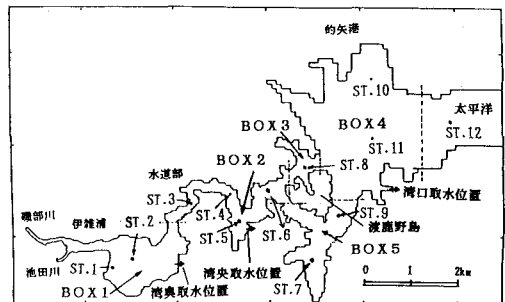


図-1 水質計算対象ボックスおよび取水口の位置
ST. 1~12 は水質測定点

* 正会員 工修 電力中央研究所 海洋科学グループ
** 正会員 工博 電力中央研究所 水理部長

$$\frac{\partial Y}{\partial t} = G_{ys}f_P Y - R_y Y - D_y Y + \frac{\partial W_y Y}{\partial z} + F(Y) \dots\dots\dots (5)$$

$$\frac{\partial Z}{\partial t} = G_z Z - R_z Z - D_z Z + F(Z) \dots\dots\dots (6)$$

$$\frac{\partial P}{\partial t} = -G_{ys}f_P Y + \gamma_y R_y Y + \gamma_z R_z Z + K_D D + \frac{W_P d A_b}{A_b dz} + F(P) \dots\dots\dots (7)$$

$$\frac{\partial D}{\partial t} = (1 - \gamma_y) R_y Y + (1 - f_y) D_y Y + (1 - \gamma_z) R_z Z + D_z Z - K_D D + \frac{\partial W_D D}{\partial z} + F(D) \dots\dots\dots (8)$$

$$TP = Y + Z + P + D \dots\dots\dots (9)$$

$$\frac{\partial O}{\partial t} = \sigma_{oy} G_{ys}f_P Y - \sigma_{oy} R_y Y - \sigma_{oz} R_z Z - \sigma_{od} K_D D + K_s(O_s - O) - \frac{W_o d A_b}{A_b dz} + F(O) \dots\dots\dots (10)$$

式(5)~(10)の最右辺の関数F(X)は、水質Xの移流・拡散を表す。また各式における化学・生物項の関数は、 G_{ys} , R_y , D_y :それぞれ植物プランクトンの増殖関数,呼吸関数,動物プランクトンによる捕食関数, f_P :栄養塩による制限関数, G_z , R_z , D_z :それぞれ動物プランクトンの増殖関数,呼吸関数,死滅関数, γ_y , γ_z :プランクトンの無機態リンへの回帰率, K_D :有機物分解関数, A_b :海底面積, f_y :補食効率関数, W_P , W_o :底泥からのリンの溶出速度,酸素消費速度, W_y , W_D :植物プランクトン,有機態リンの沈降速度, K_s , O_s :再曝気係数,酸素飽和濃度, σ_{oy} , σ_{oz} , σ_{od} :それぞれの植物プランクトン,動物プランクトン,有機態リンからDOへの換算係数,である。

水質計算は、水深2m以浅を上層,2~4mを中層,それ以深を下層とし、平面的には5つのボックスに分け、計算期間は'89年10月から1年間とした。場の流速は、流動計算によって得られた潮汐残差流および河川流入流を用い、流速を各ボックス断面に配置して行った。また拡散係数は、水平方向は $10^5 \text{ cm}^2/\text{s}$ を鉛直方向は $1 \text{ cm}^2/\text{s}$ を与えた。

図-1に計算の対象ボックスを示す。

3. 取水による水質改善効果の検討

(1) 現状水質の再現

図-2, 3, 4に、それぞれクロロフィルa, リン酸態リン, 全リンの上層の実測値と計算結果の比較を示す。

クロロフィルaの実測値は、全般的に上層の湾奥で高く、湾口で低い。また季節変化は、秋冬は値がきわめて低いに対して、春夏に高く、特に湾奥上層で著しい。計算値は上述の傾向と値をほぼ再現している。

リン酸態リンの実測値は、湾奥では流入負荷の影響で高く、湾口に向うに従って低くなっている。また季節的には湾奥で夏季に、植物プランクトンによる摂取で減少する様子を示している。計算値は上述の傾向と値をほぼ再現している。

また全リンは、全リンに占めるリン酸態リンの割合が大きいため、実測値・計算値ともにBOX 2, BOX 3ではリン酸態リンに類似した季節変化を示している。一方BOX 1では植物プランクトンの増殖が他のボックスに比べて大きいため、クロロフィルaとリン酸態リンの季節変化の混在した傾向を示している。

(2) 取水流動

の矢湾に冷却水取放水設備を仮想的に設け、その水質改善効果を数値シミュレーションによって検討した。

湾の規模や形状を勘案して、取水口を湾内に、放水口を湾外に設置する、湾内取水・湾外放水を想定した。その際湾外に設置される放水口での流動は、湾内の水質変化には関与しないものとして、流動・水質計算は湾内での取水についてのみ検討した。

取水量は $60 \text{ m}^3/\text{s}$ とし、湾内における取水口の設置場所は、図-1に示すような湾奥, 湾央, 湾口の3ケースを想定した。これらの取水口の位置は、水質計算ではそれぞれBOX 1, BOX 2, BOX 4に相当する。

取水流動の計算に用いたモデルは、潮汐残差流の計算に用いたものと同様である。計算の結果、取水による流動の影響は、取水口の前面から湾口にかけて存在し、取水口により湾奥部ではその影響が生じない結果となった。

(3) 取水口の位置の相違による水質改善効果の比較

水質のシミュレーションによって、取水口の位置による水質改善効果の比較を定量的に行った。

図-5, 6, 7にそれぞれクロロフィルa, リン酸態リン, 全リンの上層の計算結果の比較を示す。

クロロフィルaは、湾奥取水では湾全域にかけて著しく減少し、特に湾奥のBOX 1上層では、6月~10月にかけて現状の濃度の3分の1程度に、BOX 2, BOX 3上層では現状の2分の1程度となった。湾央取水では、BOX 1でも若干濃度は低減するが、BOX 2, BOX 3において現状の濃度の2分の1程度となり、直接取水を行った位置から湾口にかけての領域で、湾奥取水と同程度の水質改善効果が表れた。

リン酸態リンは、湾奥取水では、BOX 1, BOX 2において、クロロフィルa濃度の低い11月から翌年の5月に

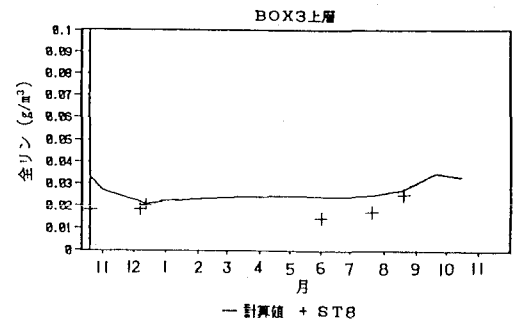
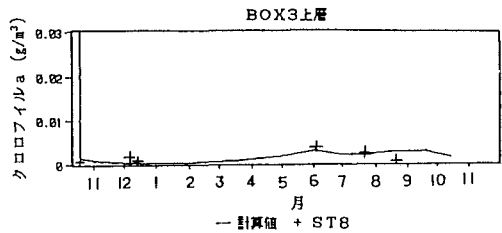
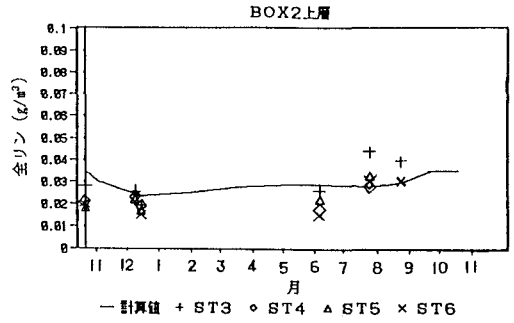
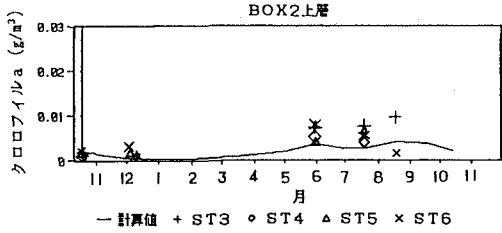
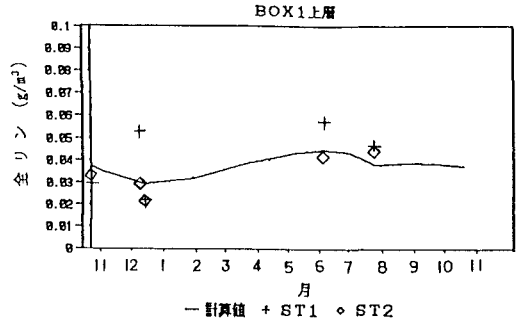
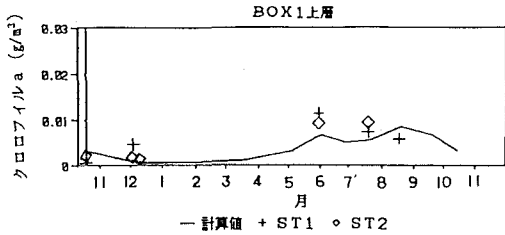


図-2 クロロフィルaの実測値と計算値の比較

図-4 全リンの実測値と計算値の比較

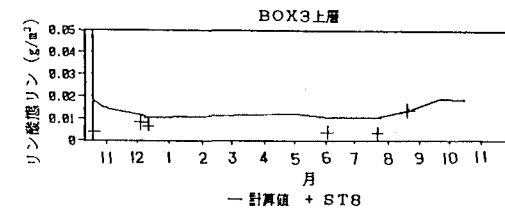
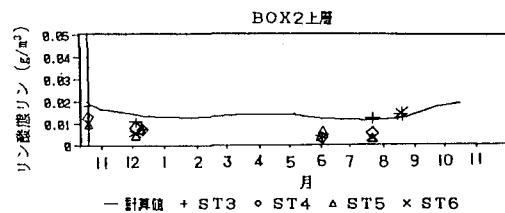
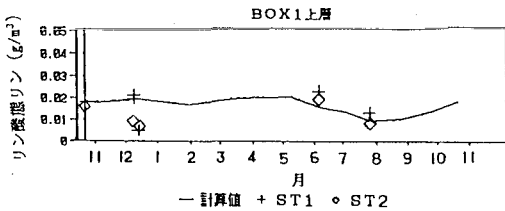


図-3 リン酸態リンの実測値と計算値の比較

かけて著しく低減し、BOX1では現状の濃度の2分の1程度に、またBOX2では現状の3分の2程度になった。一方6月から10月にかけてはクロロフィルaの湾外への排出が大きいためBOX1、BOX2ともにリン酸態リンは藻類に摂取される量が減り、現状に比べて逆に一時的に若干増大している。BOX3でもBOX2と同様の傾向を示した。湾央取水では、BOX1では湾奥取水に比べて水質改善効果は小さいが、BOX2、BOX3では湾奥取水とほぼ同程度の改善効果となった。

また植物プランクトン態のリンやリン酸態リン、非生物体の有機態リンの合計である全リンで見ると、湾奥取水ではBOX1で現状の濃度の3分の2～2分の1程度に、BOX2、BOX3で現状の4分の3～3分の2程度に低減した。湾央取水ではBOX1での低減量は小さいが、BOX2、BOX3では湾奥取水と同程度の低減量となっ

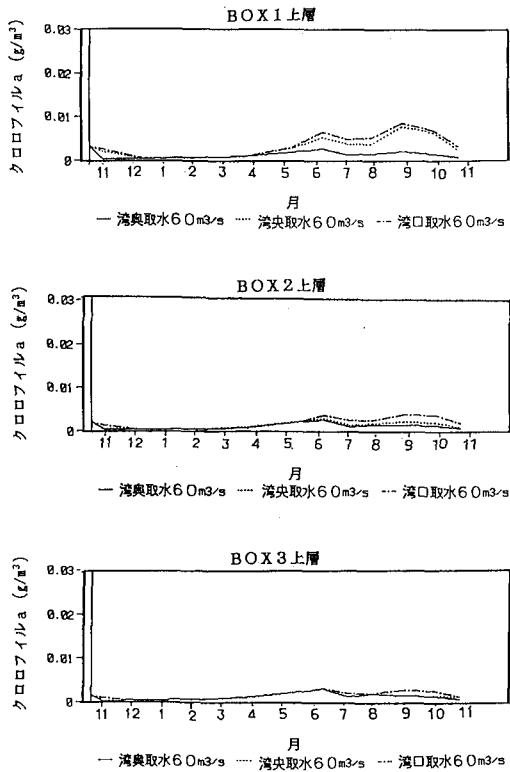


図-5 取水によるクロロフィル a の変化

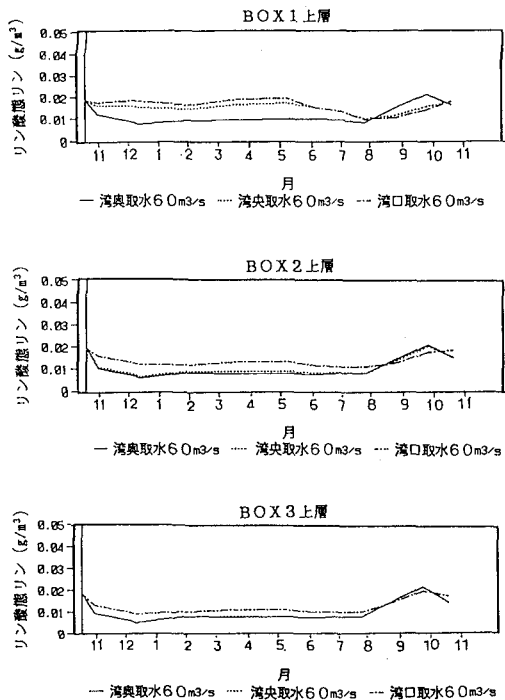


図-6 取水によるリン酸態リンの変化

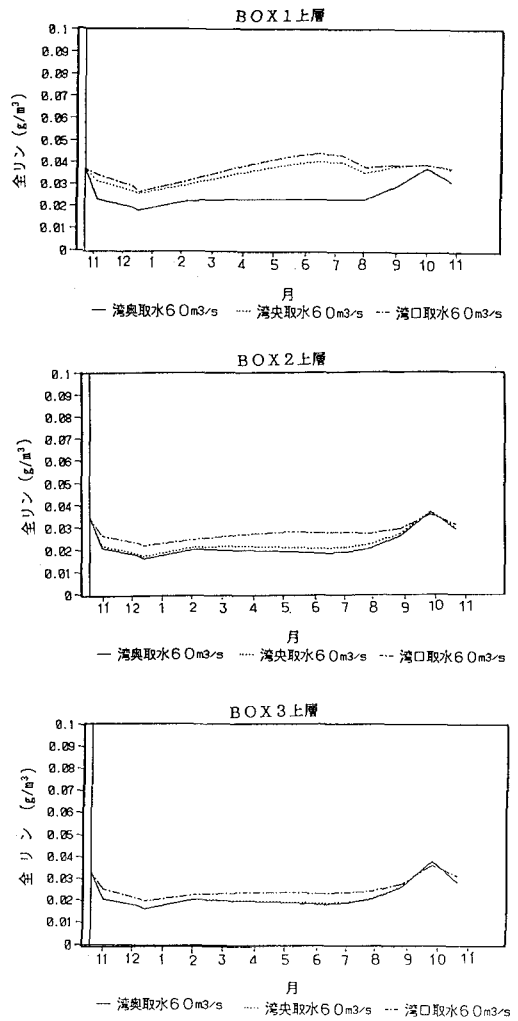


図-7 取水による全リンの変化

た。しかし湾口取水では、どの水質項目についても改善効果は認められなかった。

4. あとがき

発電所冷却水の取水を利用した水質改善効果を、湾内から取水し湾外に放水する場合について、シミュレーションによって検討した。

その結果約7000万 m^3 の内湾に、取水量60 m^3/s として、湾奥または湾中央に取水口を設定すると、直接取水を行った位置から湾口にかけての領域で、夏季のクロロフィル a 濃度が著しく低減した。しかし湾口取水ではほとんど改善効果は見られず、取水口位置の重要性が示された。

参 考 文 献

角湯正剛・水鳥雅文・和田 明 (1982): 内湾における海水交換に関する水理学的研究, 電力中央研究所研究報告, No. 382017, 45 p.

松梨史郎・坂井伸一・角湯正剛 (1994): 冷却水取放水を利用した内湾の水質改善効果, 水工学論文集, 第 38 巻, pp. 215-222.
宮本晋一・柳瀬辰彦・宮池克人 (1983): 閉鎖的な内湾における海水交換に関する研究, 中部電力総合研究所, 研究報告, 土木 (研) No. 0278, 57 p.
