

II-71

人為的海水交換における密度貫入深さの制御

東北大学大学院工学研究科 学 生 員 ○佐藤 博信
 東北大学大学院工学研究科 正 会 員 野村 宗弘
 五 洋 建 設 株 式 会 社 正 会 員 高橋 研也
 東北大学大学院工学研究科 フェロー 沢本 正樹

1. はじめに

閉鎖性内湾域のように、海水交換率が他の水域と比較して小さい淀んでいる海域では、貧酸素水塊の存在が問題となっている。そこで、海水交換型防波堤や負圧利用型海水交換装置などによる貧酸素水塊消滅の対策の検討がなされている。高橋ら（2003）は、大船渡湾において負圧利用型海水交換装置を用いた場合、底層水塊の最適交換量は $1\sim 2\text{m}^3/\text{s}$ であることを示した。

負圧利用型海水交換装置は、湾内底層の貧酸素水塊を湾外に吐き出すことによって水質を改善する仕組みであるが、同時に湾内の水質構造が変化する。本論では、湾内の水質構造の変化が水質にどう影響をしているのかを検討した。

2. 対象領域および実測手法

研究対象領域は、三陸沿岸に位置する大船渡湾（北緯 $39^\circ 02'$ ，東経 $141^\circ 44'$ ）である（図-1）。湾口部に津波防波堤と捨石マウンドが存在するため、開口部は200mしかなく、閉鎖性が高い（閉鎖度指標：14.04）。

Stn.A, B, Cの3地点において表層、中層、下層において、水温、塩分、DOを連続観測した。また、月一度のペースでStn.1~Stn.12にて鉛直方向に、水温、塩分、Chlorophyll-*a*(Chl.*a*)を測定した。また、表層、中層、下層にて採水、 $\text{NO}_2\text{-N}$ 、 $\text{NO}_3\text{-N}$ 、 $\text{NH}_4\text{-N}$ 、 $\text{PO}_4\text{-P}$ を測定した。

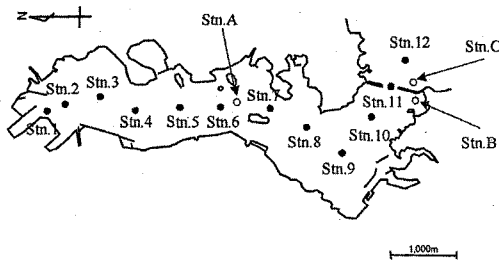


図-1 大船渡湾

3. 係留観測結果

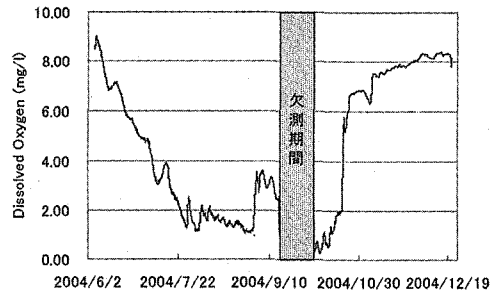


図-2 DOの時系列変化(Stn.B, 33.5m)

DOは、初夏から盛夏へと季節が移行するに従って、低下傾向にある。7月末以降、貧酸素状態に陥り、9月末には、無酸素状態までDOが低下する。しかし、欠測期間の前に突発的なDO上昇があり、密度貫入の影響が示唆される。その後、10月下旬に、1~2日間で急激にDOが回復している。これは、大船渡湾では夏季に、湾内底層水よりも湾外水の方が、水温が高く密度が低い状態であるが、湾内底層水温が次第に上昇し、かつ、湾外水温が親潮の影響で低下し、湾内底層と湾外水の水温が等しくなり、湾外水が急激に流入し、海水交換が発生したためである（佐藤ら，2005）。

4. 解析モデルの概要

DOのモデルは、細田ら（2002）に倣い、(1)式を用いた。また、底層における栄養塩類の消費に関しては、村上ら（1996）のパラメータを参考にした。また、表

$$\frac{\partial C_{DOi}}{\partial t} = +K_{DO2}(G_p - R_{CP}\theta_{CP}^{(T_i-20)})P_i - K_{DO3}\theta_{DO}^{(T_i-20)}(C_{OM} - \beta_N P_i - \beta_N Z_i) + K_{zi} \frac{\partial^2 C_{DOi}}{\partial z^2} \quad (1)$$

$$+ \left(\frac{dC_{DO}}{dt} \right)^* + (\alpha + \lambda)(C_{DOOUT} - C_{DOi})$$

$$\left(\frac{dC_{DO}}{dt} \right)^* = k(C_{DOSAT} - C_{DOi}) \quad (2)$$

$$\left(\frac{dC_{DO}}{dt}\right) = -480.0 \exp[0.046(T_i - 18)] / (24.0 \times 60.0 \times 60.0) \frac{A_B}{A_s \Delta z} \quad (3)$$

層では(2)式、底層では(3)式の項が付加される。

P : Chl. a 濃度, G_P : 増殖速度, P_{CP} : 死滅速度, Z : 動物プランクトンの炭素濃度, C_{ON} : 有機態窒素, β_N : 植物プランクトン中の N/Chl. a 比, k : 再曝気係数, C_{DOSAT} : 飽和 DO 濃度, A_B : 各層の底面積, A_s : 各層の平均面積, Δz : 層厚である。 θ および K は, 補正係数である。

5. 解析結果とまとめ

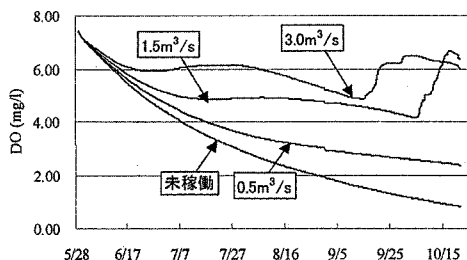


図-3 揚水量を変えた際の DO 変化 (水深 33m)

モデルによる DO の計算結果を図-3 に示す。当然ながら、揚水量を変えると、DO の低下がなだらかになっているが、1.5m³/s 以上に揚水すると、突発的に DO が上昇することがわかる。

続いて、図-4 に、海水交換装置を稼働させ、揚水量を 1.5m³/s にした場合の密度変化を示す。注目すべきは、10 月初旬に、湾内と湾外の密度が等しくなっていることであり、このときに、DO の急上昇が発生する。この理由は、海水交換装置を稼働させたために、上層の水が下に降りてきて、密度貫入が底層で発生したためと考えられる。よって、海水交換装置の設置は、湾内水質構造を変化させることによって、水質を改善

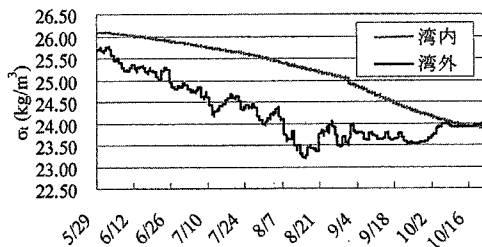


図-4 揚水量=1.5m³/s の場合の湾内密度計算値と湾外密度計算値 (水深 33m)

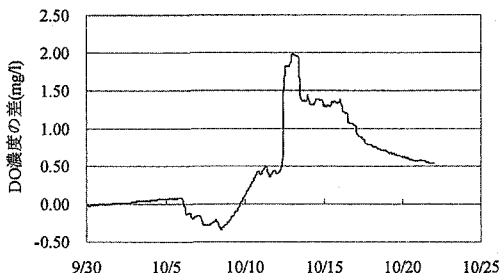


図-5 親潮接岸を考慮した場合としない場合の DO の差 (水深 33m, 揚水量 1.5m³/s の場合)

させることが示せた。

また、大船渡湾では、時期によって親潮の接岸が見られるが、親潮接岸を考慮した場合としない場合とで、DO の上昇にどのように変化があるのか、DO の差を図-5 に示す。これより、親潮接岸を考慮しない場合においては、2mg/l 程度の変化があることがわかる。また、10 月上旬においては、接岸を考慮しない場合の方が、DO 濃度が高く、親潮の挙動に注意を払う必要がある。

謝辞: 本研究は、文部科学省学術フロンティア推進事業 (日本大学工学部): 研究課題「中山間地及び地方都市における環境共生とそれを支える情報通信技術に関する研究 (研究代表: 小野沢元久)」の一環として実施した。また、科学研究費補助金基盤 A (代表: 澤本正樹) の援助を受けた。国交省仙台港湾空港技術調査事務所、鷹尾ダム工事事務所からデータの提供をいただいた。ここに記して謝意を表します。

参考文献:

- 佐藤博信, 柏館信子, 野村宗弘, 沢本正樹 (2006): 大船渡湾内の水温および DO 濃度変動に与える沿岸境界流としての津軽暖流の影響, 水工学論文集, Vol.50, (印刷中)
- 高橋研也, 佐藤博信, 柏館信子, 野村宗弘, 沢本正樹 (2005) 大船渡湾における水質特性と湾水制御効果の検討, 海洋開発論文集, Vol.21, pp.373-378.
- 細田 尚, 細見知彦 (2002): 琵琶湖北湖の水質鉛直分布の季節変化に関する簡易モデルと温暖化の影響への適用, 河川技術論文集, Vol.8, pp.495-500.
- 村上和男, 長坂 猛 (1996): 熱交換を考慮した鉛直一次元モデルによる貧酸素水塊の形成, 海岸工学論文集, Vol.43, pp.1126-1130.