

流水発生装置による閉鎖性海域の水質浄化について

STUDY ON THE IMPROVEMENT OF SEAWATER QUALITY IN ENCLOSED AREA USING A WATER CIRCULATING DEVICE

金山 進¹・春谷芳明²・城野清治³・佐々木 淳⁴・廣海十朗⁵・岡田知也⁶

Susumu KANAYAMA, Yoshiaki KASUYA, Seiji KINO, Tomonari OKADA,
Jun SASAKI and Juro HIROMI

¹正会員 博(工) 五洋建設(株) 技術研究所 (〒329-2746 栃木県那須郡西那須野町四区町1534-1)

² (社) 日本海洋開発産業協会 調査部 (〒105-0001 東京都港区虎ノ門1-24-10 三興第一ビル9階)

³ 正会員 (株) 海洋開発技術研究所 (〒848-0043 佐賀県伊万里市瀬戸町2269-53)

⁴ 正会員 博(工) 横浜国立大学 大学院工学研究院 (〒240-8501 横浜市保土ヶ谷区常盤台79-5)

⁵ 正会員 理博 日本大学 生物資源科学部海洋生物資源科学科 (〒252-8510 神奈川県藤沢市亀井野1866)

⁶ 正会員 博(工) 国土交通省 国土技術政策総合研究所 (〒239-0826 神奈川県横須賀市長瀬3-1-1)

The effect of a water circulating device to improve seawater quality in enclosed area was examined. The device was designed based on numerical simulation reflecting the condition of the target area, and its effect was tested by field observation. In the field test, density stratification of seawater was weakened, causing an increase in dissolved oxygen and a decrease in inorganic phosphorus in the bottom water. A decrease in total sulfide in the mud sediment was also observed.

Key Words : improvement of seawater, enclosed water, water circulating device

1. はじめに

近年, 閉鎖性海域を対象とする流水発生型の水質浄化装置の開発が積極的に進められているが^{1) 2)}, これらが水質浄化方策の選択肢の一つとして社会貢献を果たして行くためには, 適用条件, 効能が明確にされること, 対象海域の条件に応じた仕様設定方法が確立されること, 水質浄化の実績が客観的・定量的データとともに蓄積されることが必要不可欠である。

ここで対象とする水質浄化装置は動力を用いた水流の発生により溶存酸素濃度(DO)の高い表層水との鉛直混合を人工的に促進することによって底層部貧酸素化を解消するものであるが, 上記の観点に基づき, 対象サイトの事前調査, 予測シミュレーションに基づく装置の仕様設計, 現地実証試験による効果の確認という一連のプロセスを通じて開発を行った。

2. 水流発生装置の仕様検討

(1) 検討対象水域の概要

本研究においては対象とする海域の条件に応じて水質浄化装置を設計するというスタンスをとるが, 検討対象水域としては東京都野鳥公園の東岸に位置する閉鎖性海域を選定した。

図-1に示すように, 当水域は幅約200m, 水深約5mの水路状領域の終端部にあたり, 中央部には周辺よりも2m程度深い一辺約100mのトレンチ状の地形が存在する。この海域は底層部の水温が夏場でも22~24(°C)と表層に比べて低く, DOも1(mg/L)程度と低い。トレンチ内ではこの傾向がさらに顕著で, 水温が約20(°C), DOはほぼ0(mg/L)である。また, 塩分もトレンチ内では30(psu)以上であることから, か

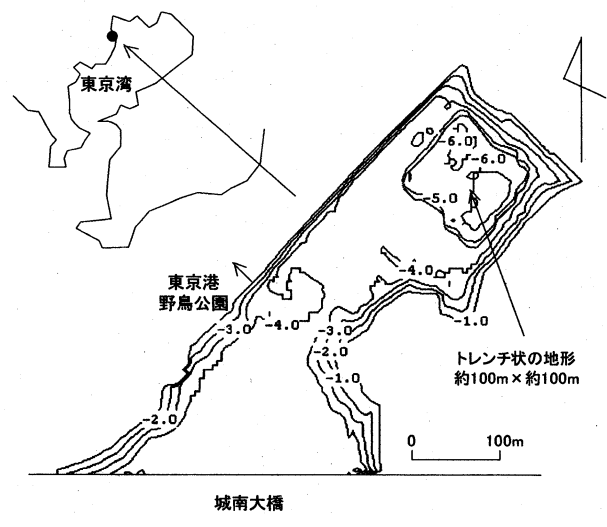


図-1 検討対象サイト

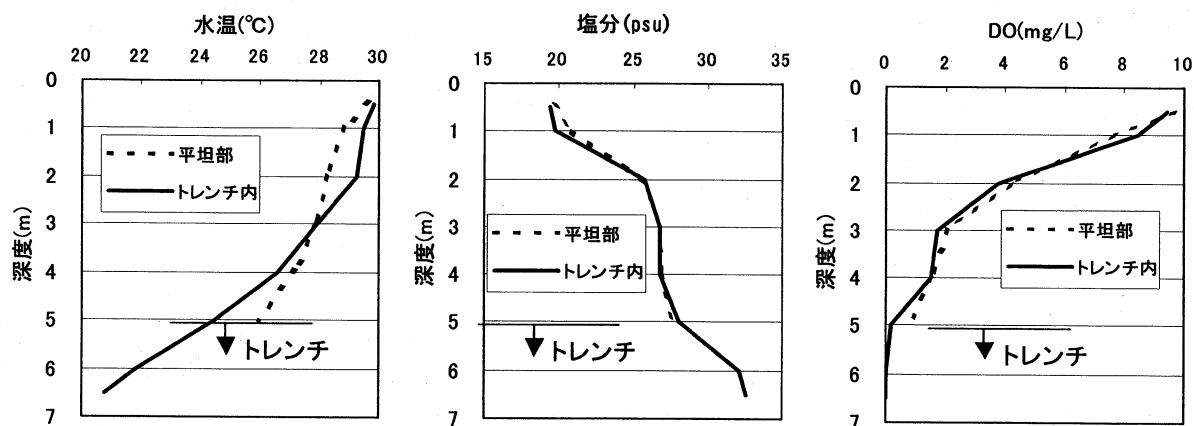


図-2 検討対象サイトにおける水温・塩分・DO

なり強い密度成層が形成されており、これがトレンチ内の海水の停滞と貧酸素化を引き起こしていると考えられる。図-2は2002年9月3日における測定結果であり、この状況を顕著に示す代表的なものであるが、夏場から秋口を通じて概ね同様な傾向を示した。このように当地点は海水の上下混合、密度成層の低減が水質改善に効果的であると考えられる。

(2) 事前シミュレーション

対象水域において流水発生装置を運転した場合の効果を概略的に予想して装置の仕様を検討する目的で事前シミュレーションを実施した。

密度流場の計算には非静水圧モデルを用いたが、計算時間を軽減するため、軸対称を仮定した円筒座標のモデルを採用した。図-3に示すように、対象海域を直径270m、深さ7mの円筒状領域としてモデル化した。トレンチ部は直径100m、深さ2mの円孔で表現し、領域の中心に水流発生装置を配置した。

鉛直方向の格子間隔は0.5m、水平方向の格子間隔は装置および近傍では2m、領域外縁付近では8mと漸変する不等間隔格子であり、実際の計算は領域中心と外縁を結ぶ一つの鉛直断面上を対象とする。領域外縁は閉境界、水表面はrigid-lidとし、潮汐および風の吹送は考慮しない。

DOの変化を予測するため、上記の密度流モデルに佐々木ら³⁾に準拠した低次生態系モデルを組み込み、夏場の晴天日の気象条件を繰り返し与えて計算を行った。水温・塩分・DOの初期条件は図-2の実測結果に基づいて与えた。

密度流場の計算結果を図-4および図-5に示す。図-4は表層から取水して底層から放水した場合、図-5は底層から取水して表層から放水した場合の結果であり、いずれも流量は25(m³/min)である。

表層水を底層部に放流する図-4の結果によれば、底層部に放流された低密度の表層水は周辺の海水を連行しつつ上昇する。底層部では連行によって持ち出された流量を補う形でトレンチ外の海水がトレンチ内の放水部に向かって流れ込む。一方、周辺水と

の混合により密度を増しつつ上昇した放流水は、自らと同程度の密度の層に達した時点で水平方向に向きを変えて周囲へ広がるため、いわゆるショートサーキットは起こらず、広い範囲の海水がトレンチ内に誘導される。

底層水を汲み上げて表層に放流した場合の結果は図-5に示す通りである。高密度の底層水は周辺水を連行しつつ密度差により下降した後、やはり水平方向に向きを変えて周囲へ広がるが、底層部における周辺水の収集は基本的には取水自体によるものであり、トレンチ内外の海水交換は図-4の結果ほど顕著ではない。

この様子は24時間経過後の水平流速の鉛直分布を示す図-6においてさらに明確に現れる。装置から10m、30m、50mの位置での結果であるが、実線で示された底層放流方式のほうが、破線で示された表層放流方式よりもトレンチ内への周辺海水の引き込み量が多いことがわかる。ここでの結果から算定すると底層放流方式による引き込み量は表層放流の場合の約30倍程度となる。

図-7は24時間経過後のDOの鉛直分布である。底層放流方式のほうが底層貧酸素の解消効果が高いが、トレンチ内への周辺海水の引き込み量が多いことがこの結果をもたらしている。ただし、水面下2~4mにおいては表層放流方式のほうが高いDOを示して

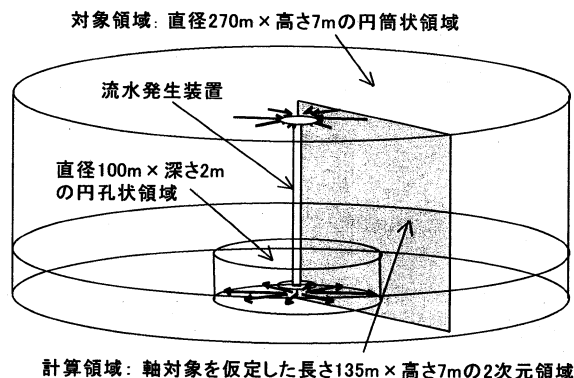


図-3 軸対称モデルの計算領域

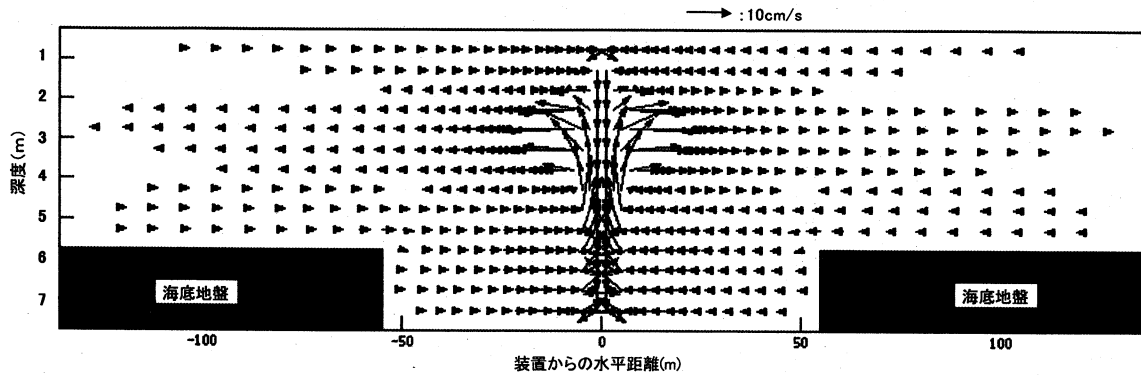


図-4 水流発生装置による密度流場（表層取水・底層放流）

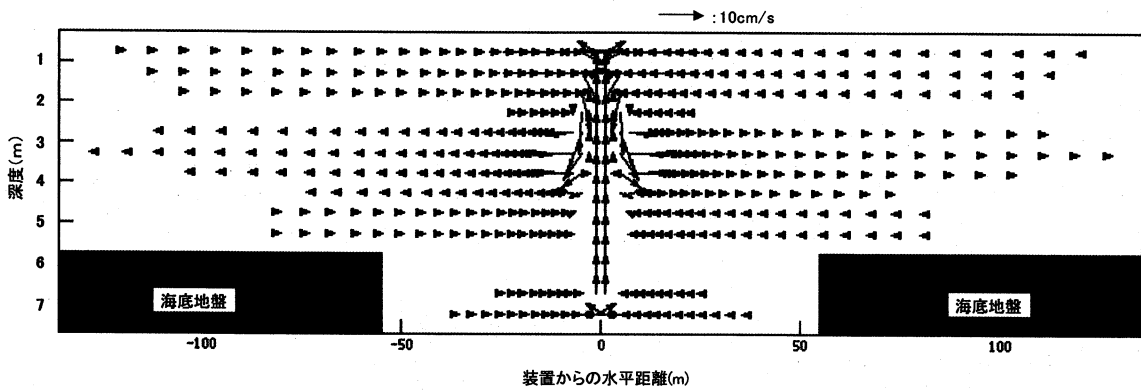
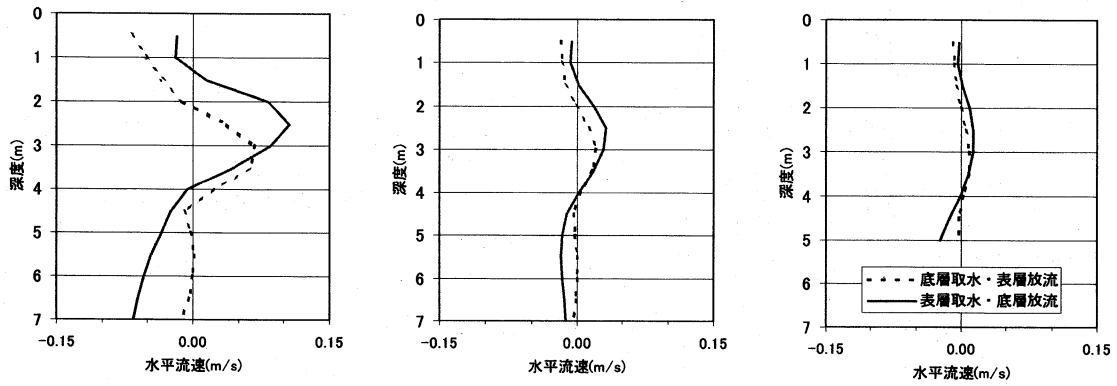


図-5 水流発生装置による密度流場（底層取水・表層放流）

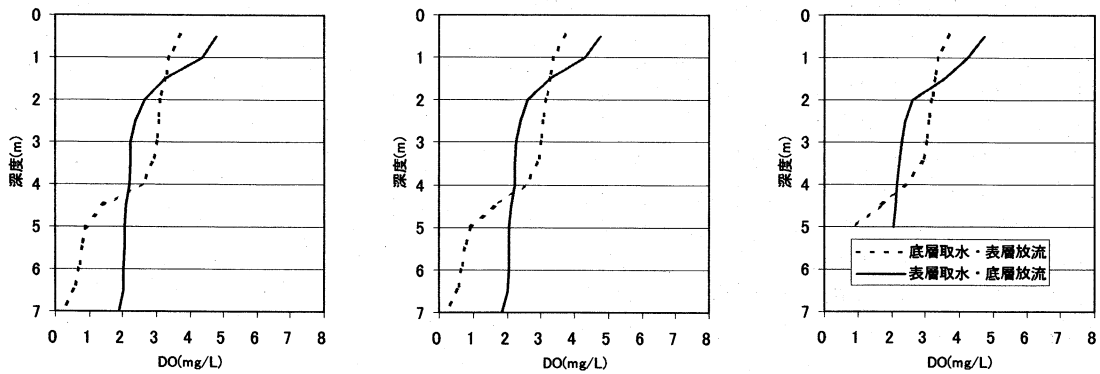


(1) 装置より10m地点

(2) 装置より30m地点

(3) 装置より50m地点

図-6 水平流速の鉛直分布

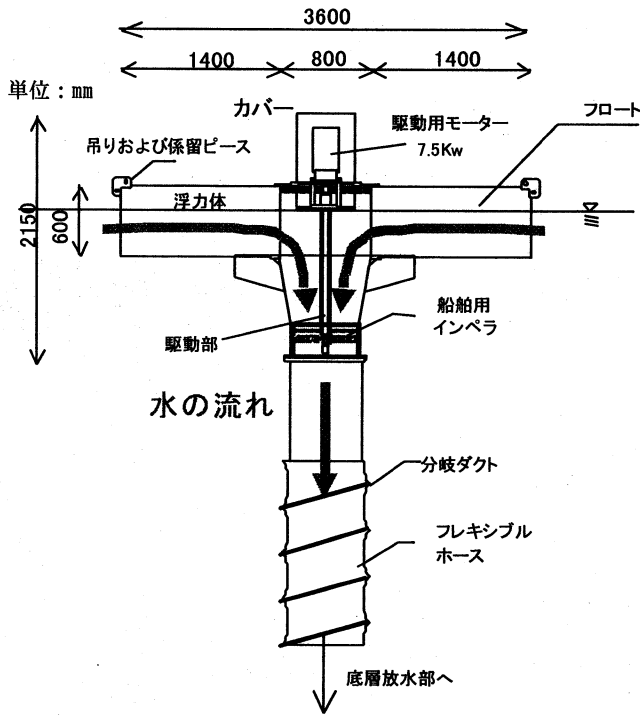


(1) 装置より10m地点

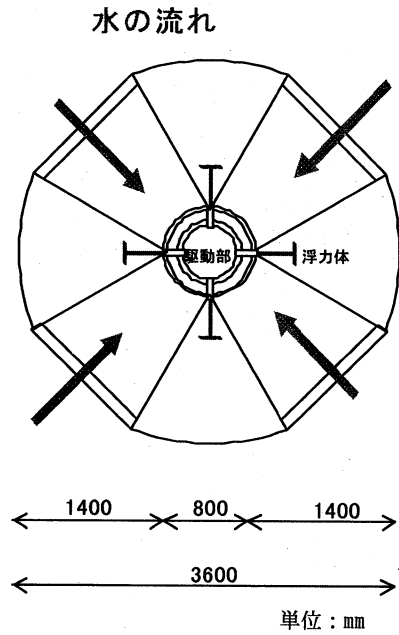
(2) 装置より30m地点

(3) 装置より50m地点

図-7 DOの鉛直分布



(1) 断面図



(2) 断面図

図-8 試作機の概要

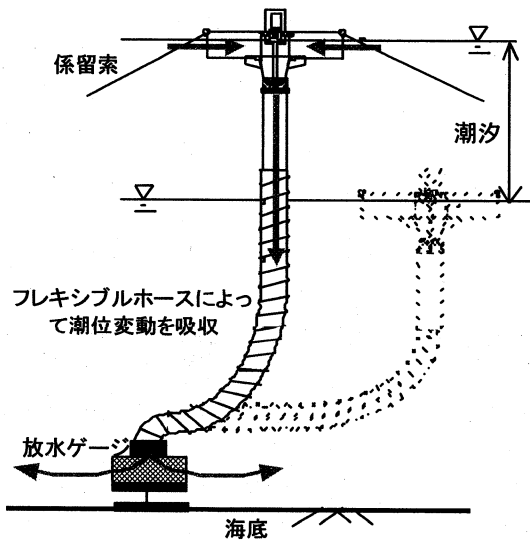


図-9 試作機の設置状況

いる。これは、図-5にみられるように表層放流の場合、海水の混合が表層から中層を中心に生じることによる。しかしながら、本装置は底層部での貧酸素の解消を目的とするものであり、底層DOの上昇効果の大きい底層放流方式のほうが好ましいといえる。

また、装置から10mの地点と30mの地点を比較すると、装置に近い程混合効果が高いというわけではなく、海水混合がトレンチ内で均等に進んでいることがわかる。

以上のように、ここで実施したシミュレーション結果によれば底層取水・表層放水方式よりも表層取

水・底層放流方式のほうがトレンチ内外の海水混合効率が高いため、後者の方式を採用することとした。また、流量については、1日で底層DOを2(mg/L)程度まで上昇させることができた25(m³/min)を目安に試作機の設計を行うこととした。

底層DOの2(mg/L)という値は生物の生息などの観点からは十分とはいえないが、検討対象海域のトレンチ内海底は底生生物の生息が皆無であることはもとより、強い硫化水素臭を帯びた嫌気的な状態であるため、こういった状況を少しでも改善することを第一段階の目標とし、好気性微生物が活動するのに必要な量といわれる2(mg/L)を当面の目標値として設定した。

(3) 試作機の概要

試作機の概要を図-8に示す。本体は直径3.6mの円盤状であり、4つのフロートによって水表面に留まる。中心軸上に取り付けられた出力7.5kWのモーターで船舶用インペラを回転させて、下向きの流れを発生させる。

図-9に示すように、4つのフロートの間から吸入された表層水はフレキシブルホースを通じて底層に送り込まれ、海底面上50cmに立ち上げられた放水ゲージから放水される。

使用電圧は三相200Vであり、陸上より電気配線する。運転の開始・停止および流量の調整は陸上の操作盤より行う。インバータにより駆動モーターの回転数を変化させて流量を調整するが、22(m³/min)の中速運転と36(m³/min)の高速運転の2段階を設定した。

3. 現地における効果検証

(1) 現地実証試験の概要

現地実証試験は2003年の7月末から10月初旬にかけて実施し、この間、連続1週間程度の運転を数回に分けて行った。図-10に示す代表測点での水温・塩分・DOの連続観測、定期的な鉛直分布観測、採水分析、底泥調査を行った。

流水発生装置はトレンチ部の中央にあたるA点に設置し、水路状をなす対象海域のほぼ中心線に沿って測点を配置した。

(2) 流況測定結果

装置から10m離れたB点ではADCPによる連続観測を行った。図-11は2003年8月29日から9月6日の高速運転期間中における平均流速ベクトルの鉛直分布を示したものであり、水平方向の流速ベクトルを海底面からの高さに対して並べたものである。

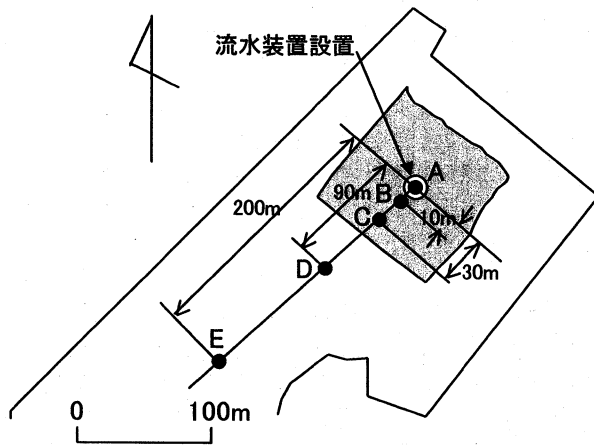


図-10 現地調査測点

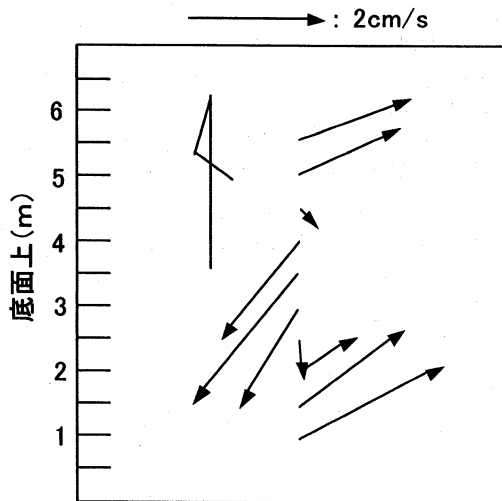


図-11 装置近傍での流速分布

流向は、底層では北東、中層では南西、表層では再び北東という分布になっているが、装置がB点の北東10mに設置されていることを考慮すると、図-4や図-6に見られる表層取水・底層放水の場合の密度流場に対応しているといえる。

(3) 水温・塩分・DOの変化

2003年8月29日から的高速運転期間の初期における水温・塩分・DOの連続観測結果を図-12に示す。トレンチ内の測点はC点、平坦部はE点である。装置運転後にトレンチ内の海水と周辺水の混合が進み、底層DOが上昇していることがわかる。

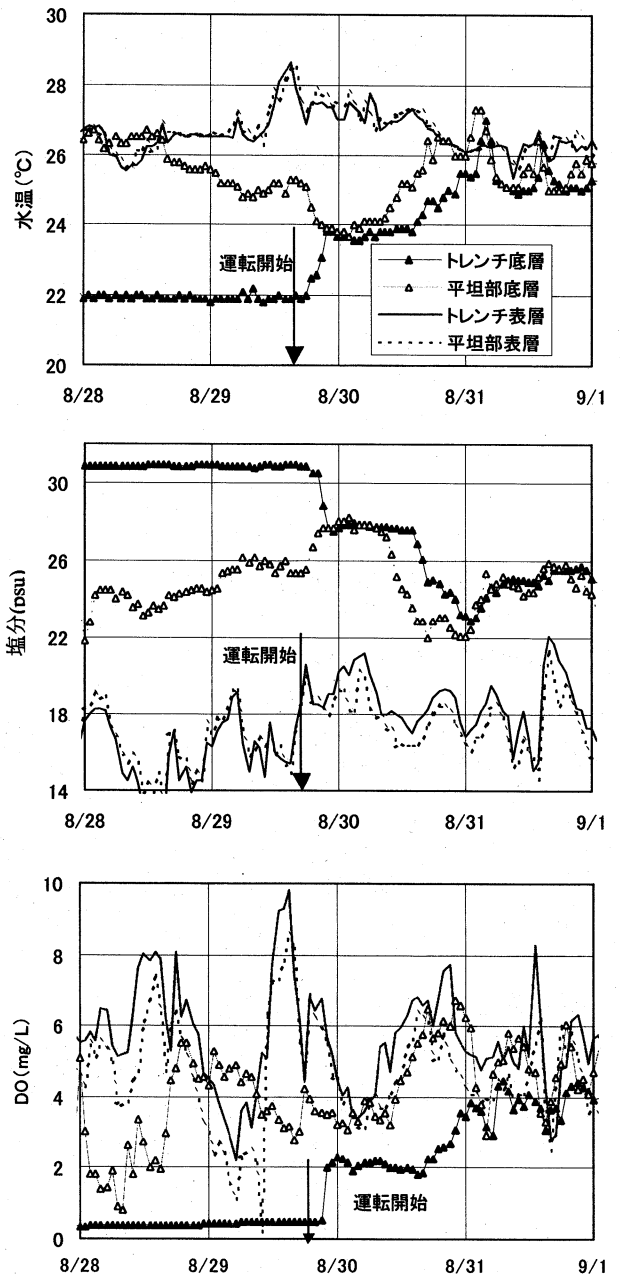


図-12 装置による水温・塩分・DOの変化

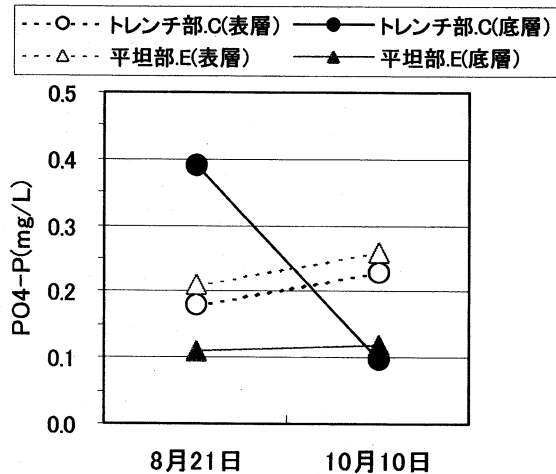


図-13 リン酸態リン濃度の変化

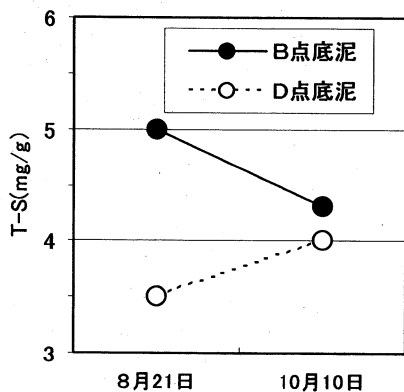


図-14 底泥の硫化物の変化

(4) 採水試料の分析結果

装置の本格的な運転の始まる以前の8月21日と約1ヶ月におよぶ断続的な運転を経た10月10日に代表測点において採水分析を行った。この中から無機リンに関する結果を図-13に示すが、他の測点に比べてトレンチ内底層におけるリン酸態リン濃度の減少が著しいことがわかる。これは、トレンチ内外の混合による希釈と底層DOが上昇したことによるリンの溶出抑制の効果である可能性が高い。

(5) 底泥分析結果

トレンチ内代表測点Bと平坦部代表測点Dにおいて底泥を採取し、装置運転前後での硫化物含有量の比較を行った結果を図-14に示す。

平坦部測点Dで硫化物が増加しているにもかかわらず、

トレンチ内の測点Bでは減少している。数値の変化が小さいため、可能性を示唆するにとどまるが、装置の運転によってトレンチ内底泥の嫌気的環境が改善の方向に変化している可能性が高い。

4. おわりに

対象サイトの事前調査、予測シミュレーションに基づく装置の仕様設計、現地実証試験による効果の確認という一連のプロセスを通じて、流水発生式の水質改善装置を開発した。

密度の小さい表層水を海底に放流することによる底層水を連行した湧昇、これを補う形での周辺水の引き込みによる底層貧酸素の解消という本装置の原理が流況、水質調査より検証され、底層DOの上昇が確認されるとともに、底層のリン酸態リンの減少、底泥の硫化物減少など、本装置の効果を示唆する調査結果が得られた。

地形改変や恒久構造物を伴わない可搬式の装置による水質浄化は、中小規模の海域浄化事業を中心に今後大きな役割を担う可能性を有しており、様々な方式の装置が提案されている。多くの実績データが蓄積され広く評価・認知されることが現時点における課題の一つであるが、本装置もその役割の一旦を担うべく、さらなるデータの蓄積を進める所存である。

謝辞：本報に関する調査研究は社団法人日本海洋開発協会が、五洋建設株式会社、株式会社海洋開発技術研究所、東京製綱ロープ株式会社および芙蓉海洋開発株式会社に委託実施したものであり、平成13年度、平成14年度および平成15年度の新規海洋産業創出研究開発補助事業として日本小型自動車振興会の補助を受けました。ここに記して感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 大内一之・山磨敏夫・小林勝弥・中村充：密度流拡散装置の研究開発，日本造船学会論文集，第183巻，pp. 1036-1040, 1998.
- 2) 宮岡修二・石垣衛・辻博和：閉鎖性海域における強制循環による水質改善工事，ヘドロ，第74巻，pp. 42-46, 1999.
- 3) 佐々木淳・佐貫宏・磯部雅彦：東京湾における富栄養現象の再現計算，海岸工学論文集，第45巻，pp. 1036-1040, 1998