

流水発生装置による閉鎖性水域の密度成層の緩和について

On the Relaxation of Density Stratification in Enclosed Water with the Water Circulating Device

角屋浩二¹・石川健二²・金山 進³・中瀬浩太⁴・小谷 拓⁵

Kouji KADOYA, Kenji ISHIKAWA, Susumu KANAYAMA, Kouta NAKASE and Hiraku ODANI

The effect of a water circulating device to cancel bottom water stagnation and starvation of dissolved oxygen in the bottom water was examined in enclosed area in KANSAI international airport. The difference of water temperature between surface and bottom whose initial value was over 10 °C was diminished to less than 1 °C after a week of device operation causing an increase in dissolved oxygen saturate ratio over 30 %. These effects were reproduced by numerical model to suggest its possibility to be an effective procedure for planning environmental protection for water quality of inner water area of KANSAI international airport.

1. はじめに

閉鎖性の強い水域では、流入した淡水の滞留や表層の水温上昇によって夏場を中心に密度成層が発達することが多く、これによる鉛直混合の低下は時として底層部における溶存酸素 (DO) の低下や表層部における過剰生産の原因となることがある。

関西国際空港の1期空港島と2期空港島の間に形成された水路状の水域 (図-1) は、現在、グラスボートによる見学ツアーやドラゴンボート等のイベントにも供され、今後の北側の連絡誘導路等の整備に際し、環境保全に対して十分な配慮が求められている。現時点では連絡誘導路より北側 (以下、「内部水面北側」と称する) の水域については空港島周辺海域と繋がった形状となっているが、今後の事業展開により閉鎖性がより強くなることも懸念される。

一方、連絡誘導路より南側 (以下、「内部水面南側」と称する) の水域は、高波浪時における連絡誘導路への越波・飛散を防止するために波除堤が設置されており、中央部に約 20 m の開口部と2本の通水管 (直径 2.5 m) により周辺海域及び内部水面北側と繋がっているが、夏季に一時的ではあるが表層と底層の水温差が 10 °C 以上となることがあり、内部水面北側と比較し成層が発達した状態となっている。

このような背景の下、将来にわたり内部水面の水質レベルを周辺海域と同程度に保つための環境保全方策検討の一環として、内部水面南側の水域において流水発生装置を用いて水温成層解消の現地実証実験を行い、効果発現の特徴について検討した。さらに、そこで生じた現象

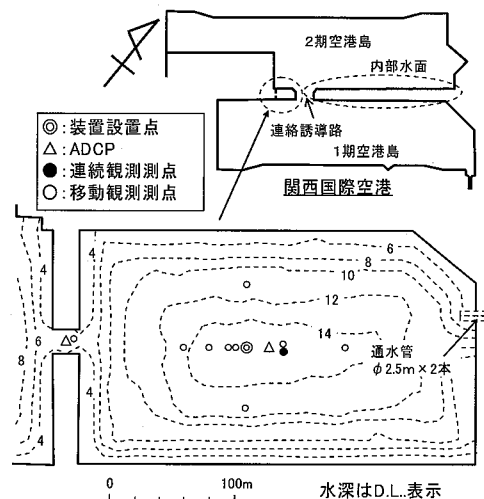


図-1 現地実験サイトの概要

の機構解明に資するとともに、将来の内部水面での水質保全対策の具体的な内容の検討や水質改善効果の評価を目的とし、3次元密度流モデルを構築し、現地実験による水質変化の再現計算を試みた。

2. 流水発生装置について

(1) 流水発生装置による鉛直混合の原理

本研究において対象とする流水発生装置による鉛直混合の原理は図-2に示す通りであり、密度成層の発達した閉鎖性海域において表層水を海底に送り込むことにより発生する循環流を利用するものである。

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し、底層部ではこれを補う形で周辺の海水が装置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

1 関西国際空港(株) 建設事務所 係長
2 関西国際空港(株) 建設事務所 課長
3 正会員 博(工) 五洋建設(株) 技術研究所 部長
4 正会員 五洋建設(株) 環境事業部 部長
5 正会員 関西国際空港(株) 建設事務所長

らず、広い範囲の海水がトレンチ内に引き込まれ、その流量は装置による純粋な放流量の2～3倍、条件によってはさらに大きくなるというものである。

東京湾の運河域の閉鎖水域における本装置の検証実験(金山ら, 2004a; 金山ら, 2004b)では、放出口が窪地状の地形内に位置する条件であったため、周辺水の引き込みが直ちにDOの上昇に結びついたが、今回は、放出口周辺の海底地形がほぼ平坦な条件下での検討である。また、塩分が鉛直方向にほぼ一定であるため、密度成層は底層水が低水温であることにのみ由来し、上記の原理の駆動力は前回よりも弱い条件での検討となる。

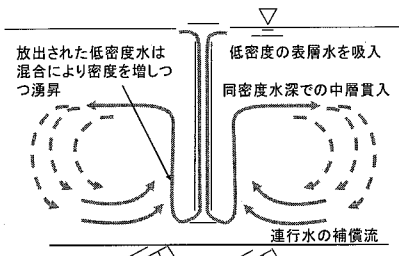


図-2 流水発生装置による海水混合機構

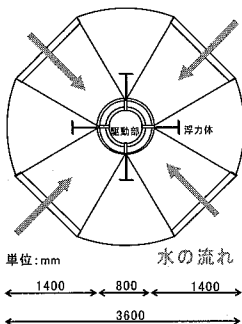
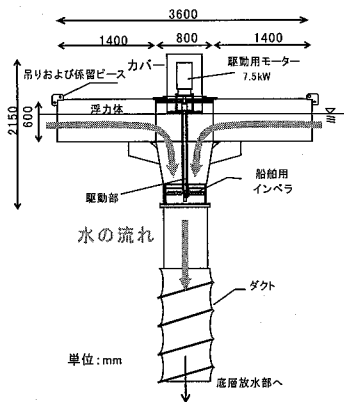


図-3 流水発生装置の概要

(2) 流水発生装置の概要

試作機の概要を図-3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。4つのフロートの間から吸入された表層水はダクトを通じて底層に送り込まれ、海底付近の放水ゲージから放水される。

前回の実験では、放水ゲージの下端が海底上50cmとなるように固定し、ダクトの材質をフレキシブルなものとする事で潮位変動を吸収していたが、今回の実験では、耐久性の観点から比較的硬質な材料を試すため、放水ゲージをフリーとし、表層水の放出深度が潮汐によって変化する方式を試した。したがって、低潮時のほうが海底付近への効果の波及が大きくなることが予想される。放水ゲージの下端はL.W.L.時に海底上0.8mとなるように設定しており、実験期間中の最高潮時には海底上2.4mまで浮上していたことになる。

3. 現地実験

(1) 現地実験の概要

対象水域のほぼ中央に装置を設置し、前出の図-1に示す測点配置で①水域中央部の定点における水温・塩分・DOの連続測定、②移動観測による水温・塩分・DOの鉛直分布測定(運転期間中5回)、③ADCPによる流況連続測定を実施した。

(2) 定点連続観測

図-4は定点連続観測の結果を装置の運転状況とともに示したものである。定点連続観測の測点は水域のほぼ中央、装置設置地点から30m港奥に位置し、水温およびDOは海底上1m, 3m, 5m, 7m, 9mおよび水面下1mと水深の1/2の深度において測定した。図-4には代表的な深度における結果を示した。塩分については、ここでは示していないが調査期間中を通じて全ての深度で概ね31psu程度のほぼ一定の値であった。

海底上3mにおける水温およびDOは8月23日13:50の装置運転開始から程なく上昇を開始しているが、海底上1mでは影響が遅れて現われている。水温は運転開始後に緩やかな上昇を始めてはいるものの、顕著な上昇が認められるのは約1日経過後の8月24日11:00頃からである。海底上1mにおけるDOはこの時間帯から値に変動がみられるようになるが、明確な上昇に転じるのはさらに1日経過後の8月25日14:00頃からである。

運転開始から4日経過した8月27日以降、水温の均一化および底層DOの上昇はほぼ落ち着き、9月4日12:00に運転を一旦停止するまでこの状態が継続した。

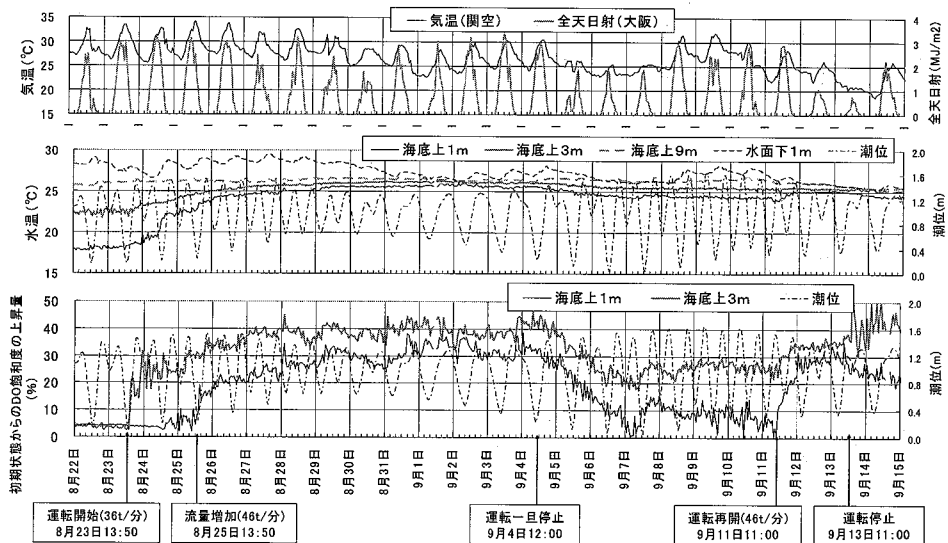


図-4 定点連続観測結果

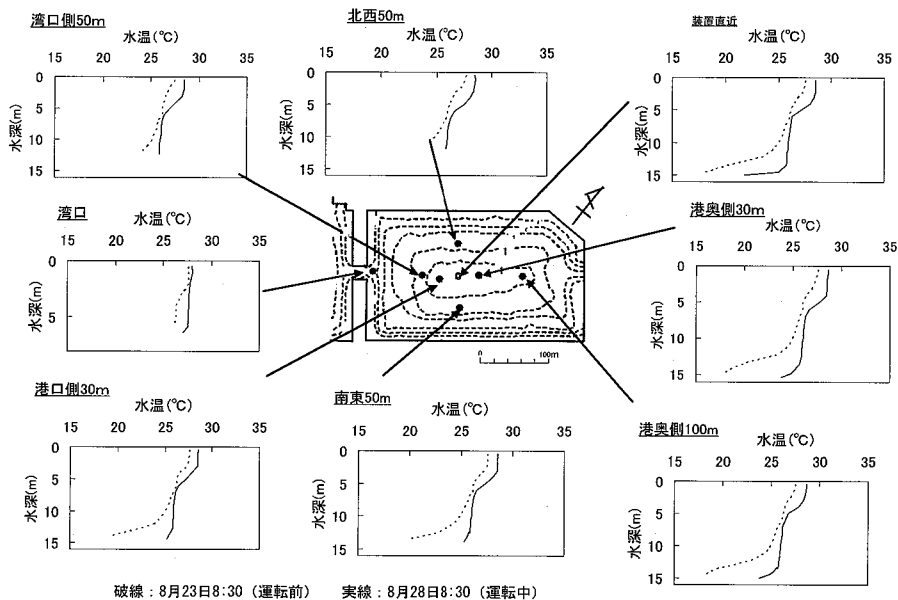


図-5 水温成層緩和効果の空間的拡がり

海底上1mと9mでの水温差はほぼ1℃以内にまで均一化されている。

装置停止後、海底上1mおよび3mにおける水温は緩やかに低下を始めるが、7日後にあたる9月11日の運転再開の直前でも水温の成層化が回復することはない、海底上1mと9mでの水温差は3℃以内となっている。

一方、装置停止後の底層DOに注目すると、海底上1mでは9月7日の午前中に最初の装置運転前と同程度にまで低下している。ただし、その後は回復傾向を示し、運転再開の直前は最初の運転開始前よりは高い値となっ

ている。

9月11日11:00の運転再開時にはこれに対応したDOの回復がみとめられる。海底上1mにおけるDOの回復が海底上3mのものに対してはほぼ遅延することなく現われている点は運転再開時の特徴といえる。

(3) 移動観測結果

図-5は、定点連続観測結果にみられた本装置の効果、すなわち水温成層の緩和と底層への溶存酸素の供給が空間的にどのように波及しているかを把握する目的で、運転開始前と運転中の各地点における水温の鉛直分布を比

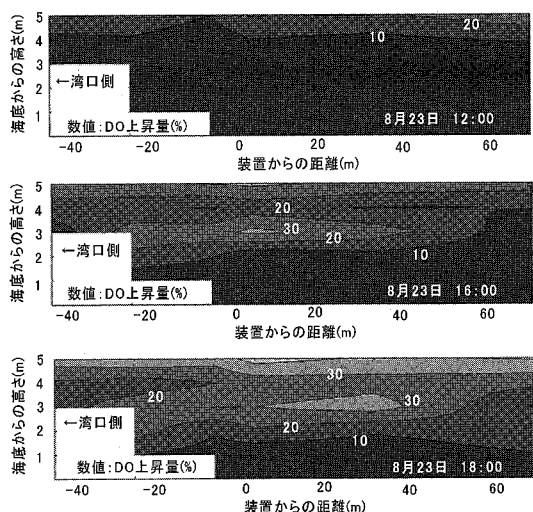


図-6 運転初期のDO飽和度上昇量の拡がり

較したものである。運転開始日の8月23日と運転中の代表として選んだ8月28日はともに晴天日であり、ほぼ同時刻となる8:30頃の調査結果を示した。運転中の8月28日のほうが水温の平均値自体が高いとはいえ、その鉛直分布の比較から、底層にみられた低水温の領域が解消しており、その効果は領域内のほぼ全域に及んでいることがわかる。図-6は8月23日13:50からの装置運転開始初期にみられた特徴的な現象を示すために整理したものであり、領域の中心線上に位置する移動観測測点の観測結果からDO飽和率上昇量の縦断面図を作成したものである。運転開始後の16:00と18:00には、海底上約3mに運転前の12:00にはみられなかった帯状のDO上昇域が現われ、これが拡がって行く様子がみとめられる。図-2の機構模式図に示される鉛直的な海水の循環によって放流水が拡がっていく過程が観測されたものと推定される。これは、図-4の定点連続観測結果において海底上3mのDO上昇が海底上1mよりかなり早い時間に現われたことと対応していると考えられる。

4. 数値モデルによる現況再現計算

(1) 数値モデルの概要

流水発生装置を用いた現地実証実験で生じた現象の機構解明に資するとともに、将来の内部水面での水質保全対策の具体的な内容を検討するための手法を検証することを目的とし、数値モデルによる現況再現を試みた。

流動場の再現には密度流を考慮した静水圧近似の多層レベルモデル、水質の再現には有機態、無機態の窒素・リンおよび植物プランクトン等を対象とした多層富栄養化モデルを用いた。境界条件・初期条件は内部水面に対

するモニタリング調査で蓄積された情報を基に設定した。

波除堤内海域に防波堤沖側150mまでを加えた領域を対象に、平面の格子分割は10mの等方メッシュとし、鉛直方向の層分割は、1m間隔(表層のみ2m)とした。

再現対象期間は運転開始前日にあたる8月22日から運転停止後4日間経過した9月10日までの20日間である。入力気象データとしては、2期空港島沖MT局における風向・風速データ、大阪管区気象台における関空地点の気温データ及び大阪地点の湿度、雲量および全天日射量を用い、潮位データとしては主要4分潮を入力した。

(2) 現況再現結果

図-7は水流発生装置から30m港奥側(北東側)の連続観測地点での水温およびDO上昇量について観測値と計算値を比較したものである。再現計算による水温、DO上昇量の変化は、いずれも観測値とほぼ同様の傾向を示しており、水流発生装置による表底層の水温差の解消や底層部のDO濃度の改善などは概ね再現されている。

図-8は装置の運転開始初期(8月23日20:00)における水温およびDOの再現計算結果を領域の中心線上での縦断面図で示したものである。移動観測結果を同様の形で整理した図-6とこれを比較すると、今回の現地実験における特徴的な現象の一つである運転初期の鉛直循環流に沿ったDO上昇域の拡がりが数値モデルによって表現されていることがわかる。なお、図中の数値は初期状態からの変化量を示している。

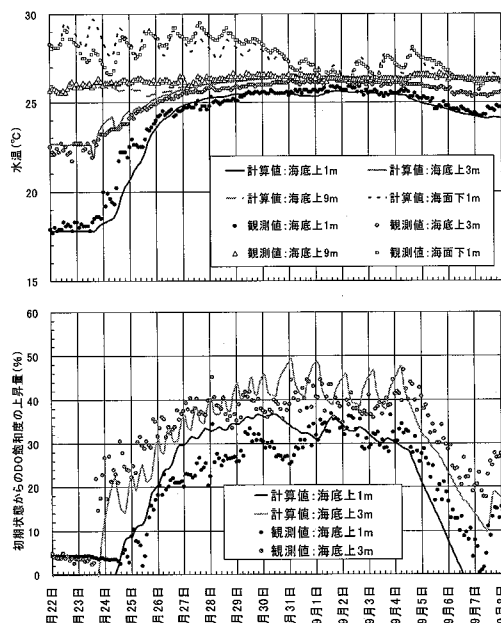


図-7 連続観測点における水質の再現結果

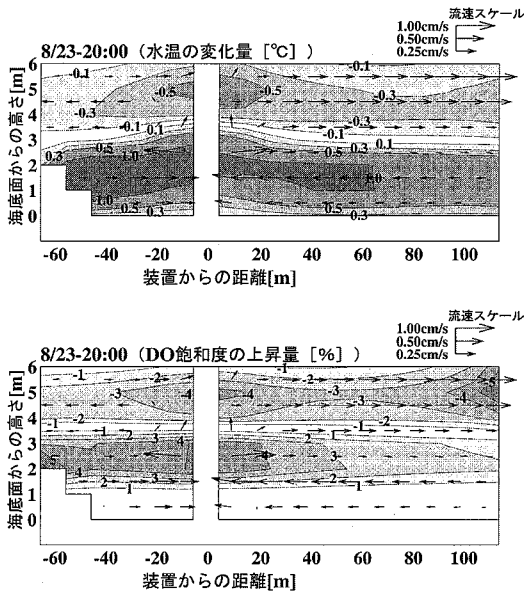


図-8 運転初期に対する再現計算結果

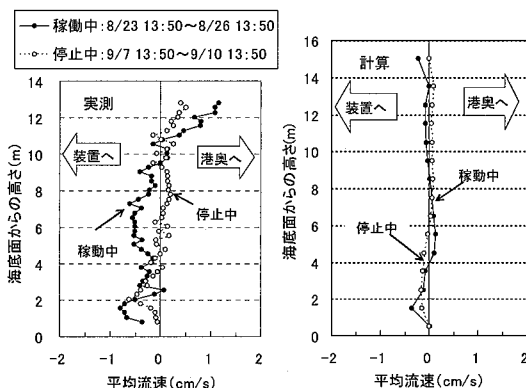


図-9 流速鉛直分布 (左:観測値, 右:計算値)

図-9 は水流発生装置から 20 m 北東側に設置した ADCP による流速観測結果を再現計算結果と比較したものである。領域中心線へ投影成分を湾奥方向(北東)を正とした水平流速の鉛直分布であり、装置稼働中と停

止中に分けて平均値を示した。全層を通じて観測値に比べて計算値の流速絶対値が小さい傾向があるものの、装置稼働時には、海底面上 2 m 以深の下層部において、停止時に比べて装置に向かう流れが大きくなる傾向は一致している。

以上のように、ここで用いた数値モデルは、今回の現地実験結果に対して概ね妥当な再現性を示しており、将来の内部水面での水質保全対策の具体的な内容を検討するための手法としての展望が得られたといえる。

5. おわりに

親水空間やターミナル等の整備などの関西国際空港の今後の事業展開における内部水面の環境保全方策検討の一環として、流水発生装置による底層水停滞解消の実験を行った。実験開始前に 10℃ 程度であった海底上 1 m と 9 m の水温差が運転開始から 1 週間後には 1℃ 程度にまで均一化されるとともに底層水の DO 飽和度は海底上 1 m において 30%，海底上 3 m において 40% 程度の上昇を示し、水温躍層の緩和と底層への酸素供給という効果が確認された。

また、数値モデルは、今回の現地実験結果に対して概ね妥当な再現性を示しており、将来の内部水面での水質保全対策の具体的な内容を検討するための手法としての展望が得られた。

なお、本実験で用いた流水発生装置は、五洋建設(株)他 3 社が平成 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て開発したものであることを付記する。

参考文献

- 金山 進・佐々木洋之・佐々木淳・岡田知也・春谷芳明・城野清治・廣海十朗・中瀬浩太(2004): 密度流を利用した底層貧酸素対策装置の効果とその再現計算, 海岸工学論文集, 第 51 巻, pp. 1166-1170.
- 金山 進・春谷芳明・城野清治・佐々木 淳・廣海十朗・岡田知也(2004): 流水発生装置による閉鎖性海域の水質浄化について, 海洋開発論文集, 第 20 巻, pp. 959-964.