

流水発生装置による閉鎖性水域の密度成層 および底層海水停滞の緩和に関する現地実験

A FIELD TEST ON THE RELAXATION OF DENSITY STRATIFICATION
AND BOTTOM WATER STAGNATION IN ENCLOSED AREA WITH THE
WATER CIRCULATING DEVICE

金山 進¹・中瀬浩太²・角屋浩二³・小谷 拓⁴

Kouji KADOYA, Hiraku ODANI, Susumu KANAYAMA and Kouta NAKASE

¹ 正会員 博 (工) 五洋建設(株) 技術研究所 (〒329-2746 栃木県那須塩原市四区町1534-1)

² 正会員 五洋建設(株) 環境事業部 (〒112-8576 東京都文京区後楽2-2-8)

³ 関西国際空港(株) 建設事務所 (〒549-8501 大阪府泉佐野市泉州空港北1番地)

⁴ 正会員 関西国際空港(株) 建設事務所 (〒549-8501 大阪府泉佐野市泉州空港北1番地)

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 air port. 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%. Typical flow pattern of the device was observed in several hours at the beginning of operation.

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

1. はじめに

関西国際空港の1期島, 2期島の間位置する内部水面は, 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。

今回は, こういった環境保全方策検討の一環として, 図-1に示すように, 連絡誘導路を挟んで南側に位置する水域において流水発生装置による底層水停滞解消の実験を行った。

この水域には, 高波浪時における連絡誘導路への越波・飛沫を防止するために防波堤が設置されている。奥行約300m, 幅約200m, 最大水深約15mの水域で, 幅20mの開口部と2本の通水管(直径2.5m)により内部水面と北側と繋がっている。夏季に一時的ではあるが表層と底層の水温差が10°C以上になることがあり, 内部水面の北側と比較し成層が発達した状態となっている。

一方, 今回の実験に用いる流水発生装置は, 密度流的な循環流を利用して海水混合を促進するものであり, 表層付近での低塩分による強い密度成層および急峻なトレンチ状の地形という比較的限定的な条

件下においては, その原理と効果が確認されているが^{1), 2)}, より一般的な条件下での検証が課題として残されていた。

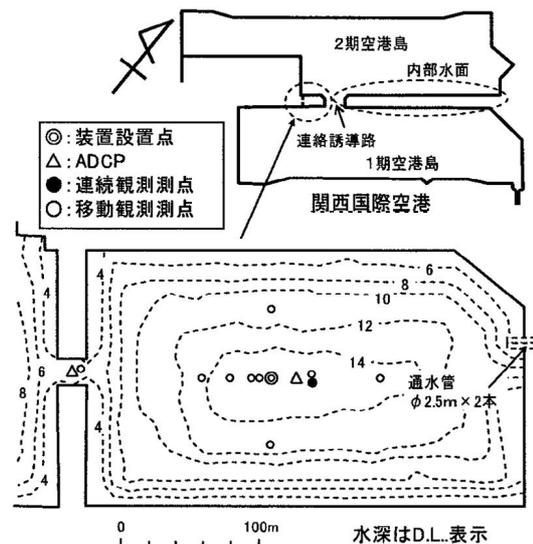


図-1 現地実験サイトの概要

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^{1),2)}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。さらに、装置を数日運転して密度成層をほぼ解消した後、装置を再運転を行った場合についても検討を行う。

(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、図-4に示すように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

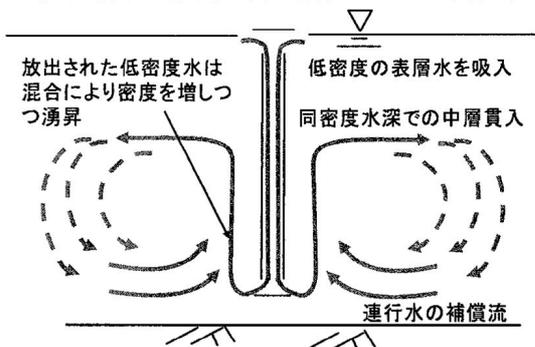


図-2 強い成層条件下での海水混合機構

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80cm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。

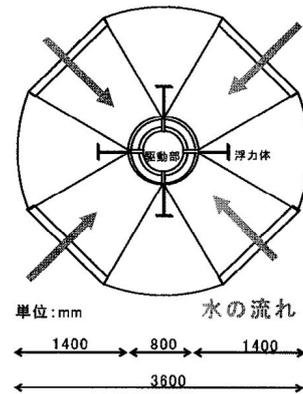
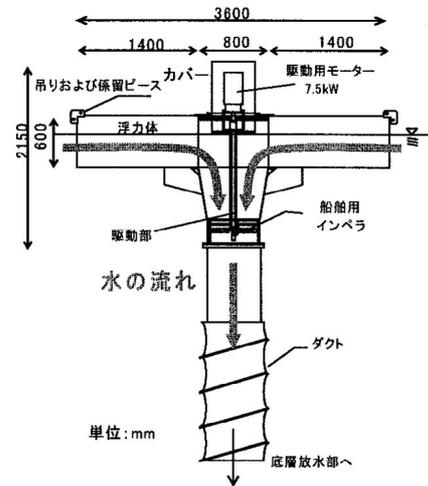


図-3 流水発生装置の概要

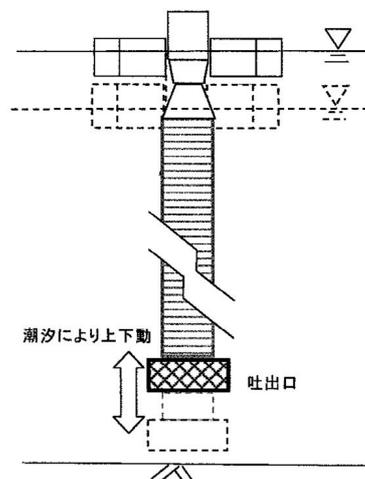


図-4 放出口の状況

使用電圧は三相200Vであり、発電機を設置して陸上から供給した。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ものであり、36(m³/min)の中速運転と46(m³/min)の高速運転の2段階を設定した。

3. 現地実験

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代表深度における水温・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による流速連続測定を実施した。

(1) 定点連続観測

図-5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されているが図-5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。

海底上1mへの効果の波及が海底上3mに比べて遅延した原因について図-2に示した本装置の原理と照らし合わせて考察すると、海底上3mでの水温とDOの上昇は鉛直的な海水の循環による1次的な効

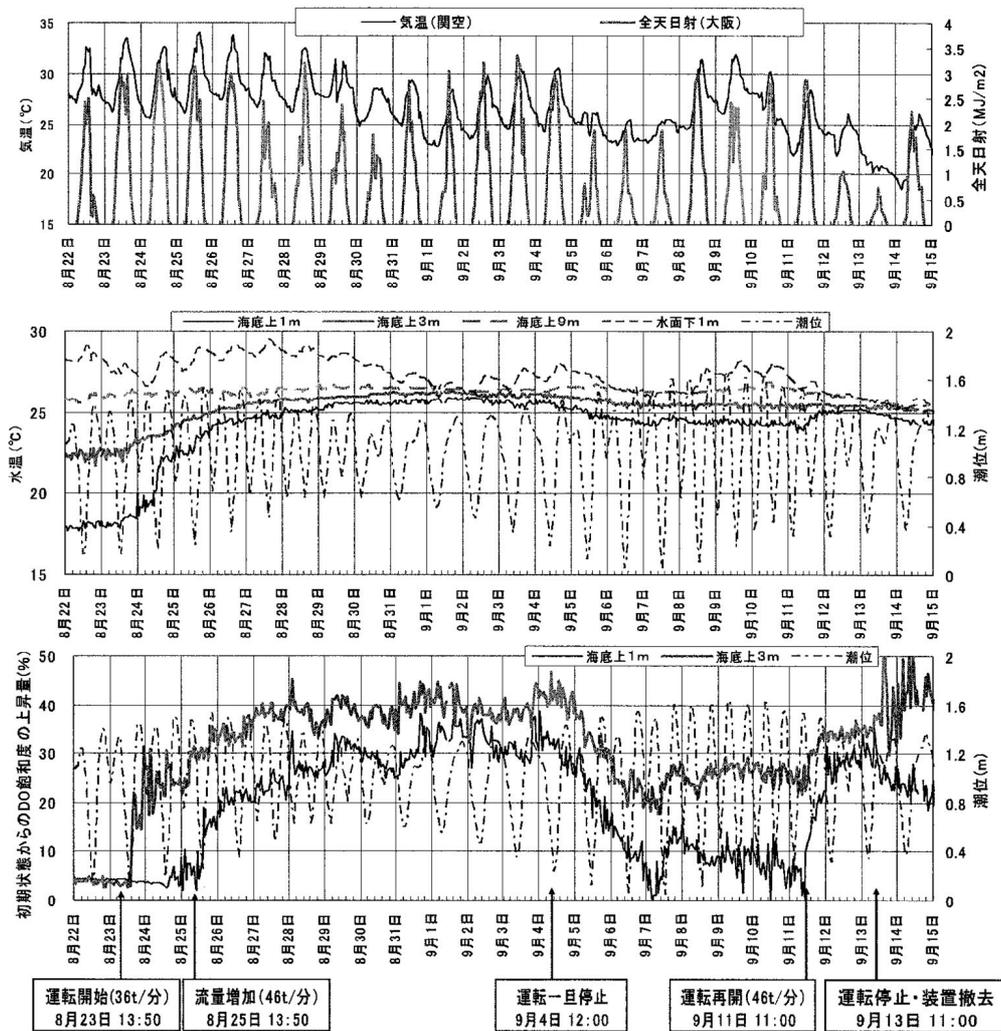


図-5 定点連続観測結果

果波及であり、海底上1mでは、これがある程度広がった後に補償流によって到達したものである可能性が示唆される。

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。海底上1mと9mでの水温差はほぼ1℃以内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。

運転再開時には水温均一化により密度成層が緩和されているため、図-2に示すような密度流を利用した本装置の鉛直混合促進機構の駆動力は、最初の運転開始時よりも低下していることが予想されるが、運転再開に対応したDOの回復がみとめられる。海底上1mにおけるDOの回復は海底上3mのものに対してほぼ遅延することなく現われている点が運転再開時の特徴の一つといえる。

(2) 移動観測結果

図-6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

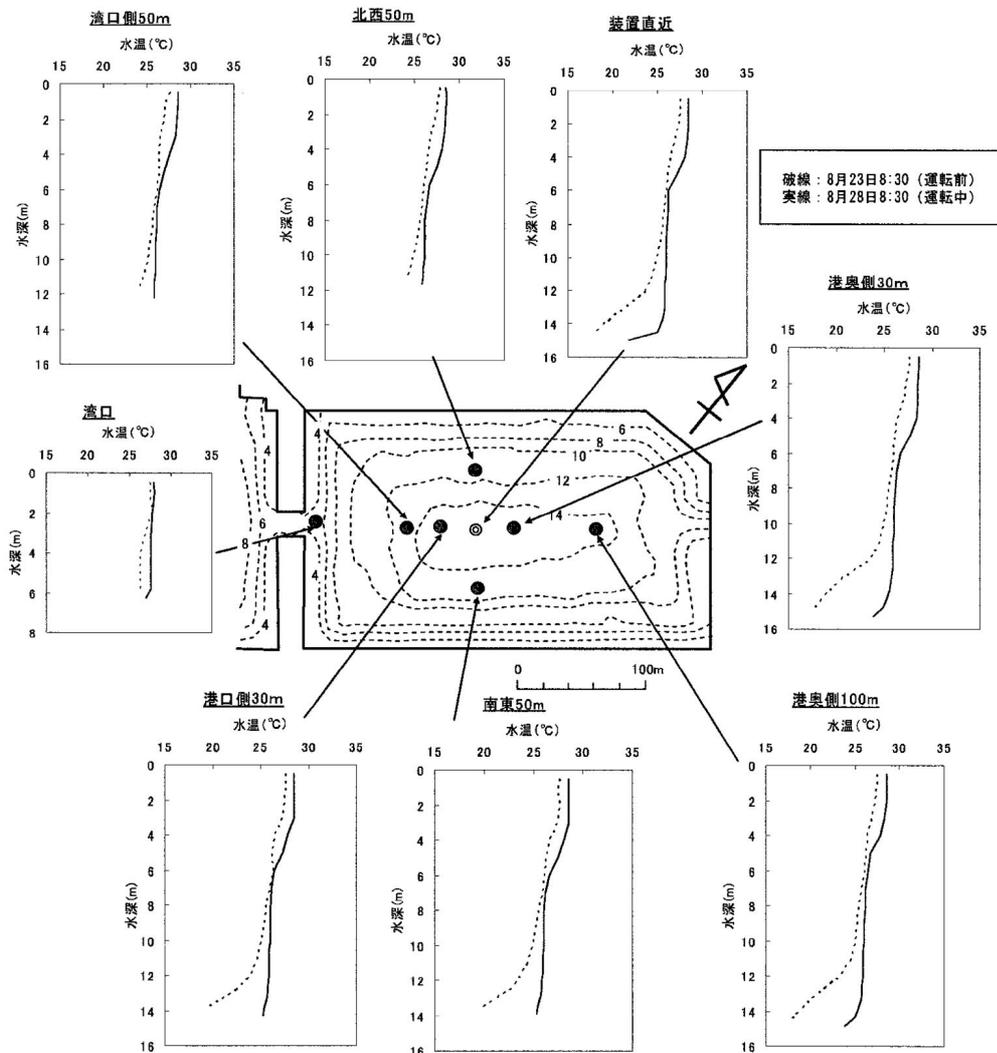


図-6 水温成層緩和効果の空間的拡がり

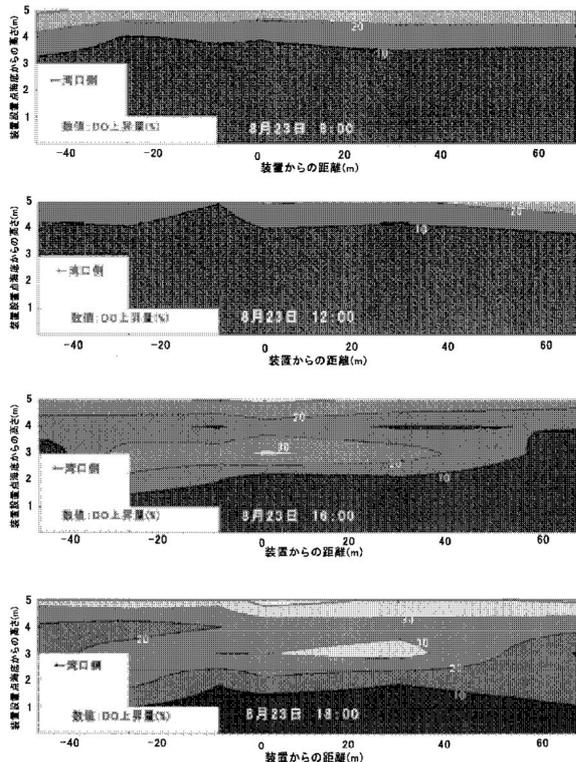


図-7 運転初期のDO飽和度上昇量の拡がり

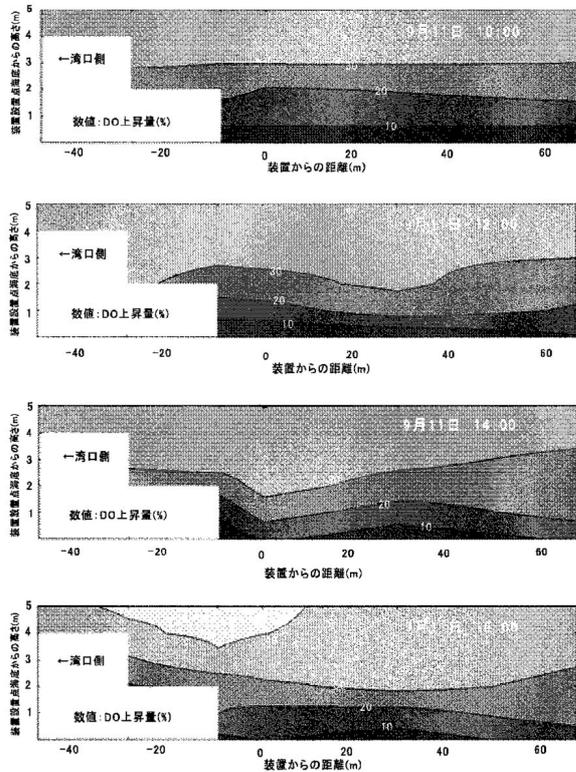


図-8 運転再開時のDO飽和度上昇量の拡がり

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-7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8:00と12:00にはみられなかった帯状のDO上昇域が現われ、これが広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広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-5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よりも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。

図-8は同様の整理を9月11日の運転再開時に対して行ったものであるが、ここでは上記のような循環流を想起させる現象はとらえられていない。

(3) 流況測定結果

図-9はADCPによる流速鉛直分布の測定結果の時間平均値を最初の運転期間（8月23日13:50～9月4日12:00）、運転停止期間（～9月11日11:00）、再運転期間（～9月14日11:00）に分けて示したものである。ADCPの設置点は装置設置地点から湾奥側20mに位置するが、図中の流速は装置と測点を結ぶ線への投影成分を示したものであり、湾奥向き、すなわち装置から離れる方向を正にとった。

まず、実線で示された停止期間中の結果に注目する。これは装置運転により水温成層の解消がかなり進んだ時点でのものではあるが、表層で湾奥、底層で開口部へ向かう鉛直分布形がみられる。運転時の流速鉛直分布をこれと比較すると装置に向かう底層付近での流れは強く出ており底層水の流動促進の効果は推測されるが、図-2の機構模式図のような特徴的なパターンは実験期間中で平均してみると明瞭には現われていない。

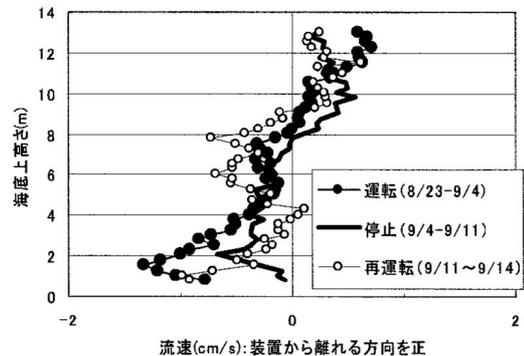


図-9 運転状況別の流速鉛直分布

図-10は運転初期において海底上3 m付近でのDO上昇域が水平的に広がっていった現象と流速測定結果との対応を検討するため、運転開始初期の数時間に対して同様の整理を行ったものである。海底上3 m付近では装置から離れる流れが観測されており、これは、鉛直的な海水循環の往路の流れ、すなわち中層貫入に対応しているとみられる。実験の初期の段階においては温度躍層がはっきりしていたため、流水装置の原理に対応した流況パターンが発生していたとみられる。

4. 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。

なお、本実験で用いた流水発生装置は、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の4社（旧社団法人日本海洋開発産業協会会員企業）が平成13年度、平成14年度および平成15年度の新規海洋

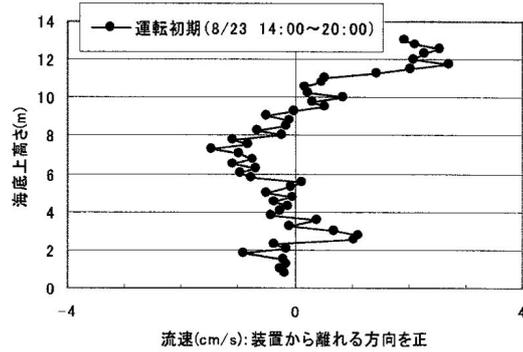


図-10 運転開始初期における流速鉛直分布

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

- 1) 金山 進・春谷芳明・城野清治・佐々木 淳・廣海十朗・岡田知也：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.959-964，2004.
- 2) 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：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.1166-1170，2004.