廃熱を動力源とする閉鎖性水域における鉛直循環装置の基礎的研究

東洋建設（株）北陸支店　正会員　神野夏樹
東洋建設（株）鳴尾研究所　正会員　藤原隆一
東洋建設（株）鳴尾研究所　毛利　順

１．はじめに

東京湾，三河湾，大阪湾を始めとする閉鎖性の高い海域では，春期ー秋期にかけて青潮の発生が常態化している．この時期，表層では日射による水温の上昇や河川水の流入によって密度が小さくなるが，底層では海水の流動が小さいこともあり低温で密度が大きい．このように，成層化することで鉛直循環が弱まり，底層では表層からの酸素の供給が絶たれると同時に，有機物の化学分解によって酸素が消費されるとともに，還元状態となって硫化物濃度が高くなる．抜本的な対策としては陸域からの汚濁負荷を削減する必要があるが，発生した場合の対応策を講じる場合も対象域が広範となることやランニングコストの問題など解決すべき課題は多い．青潮は，主に風による流れによって底層水が表層に涌昇する現象であることから，底層の貧酸素化を解消することは青潮発生の連関を断ち切る上で有効であると考えられる．

そこで，小規模な海域を対象とし，底層の貧酸素水塊の解消を図ることを目的とする鉛直循環装置の可能性を探ることとした．装置の稼働に必要となる動力エネルギーは，臨海部から排出される廃熱を利用し，新たなエネルギーを消費することなく長期にわたって稼働可能なシステムの構築を目論む．提案技術の効果は，成層化した海域における水質を評価することが必須となる．鳴尾研究所は大阪湾奥に位置し，隣接して自社岸壁がある．この岸壁を利用して夏季の成層期に現地実験を行い，提案技術の可能性を検討した結果について報告する．

２．鉛直循環装置の概要

現在計画している鉛直循環装置は，1)常に DO が飽和状態に近い表層水を単純に底層に送水する場合（表層水循環システム），および 2)貧酸素化した底層水を汲み上げ，気液混合装置などを用いて飽和させてから底層に返水する場合（底層水循環システム）の２ケースを想定している．海水の循環装置としては，流量が数 m³/分程度の水中ポンプを想定している．**図-1** に表層水循環システムのイメージを示す．

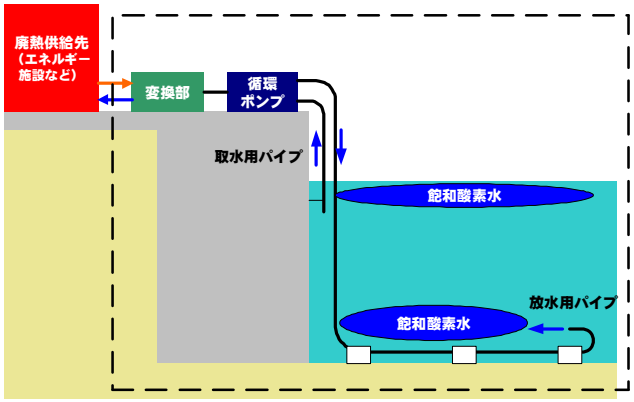

図-1　鉛直循環装置のイメージ（表層水循環システム）

このシステムは直立護岸などで囲われたような海域を対象に考えている．直立護岸は夏季にムラサキイガイなどが落下しこれを分解するために酸素が消費されるため，水質環境が悪化しやすい．そこで，護岸からやや離れた海底付近から護岸に向かって飽和酸素水を放出することで護岸との間に鉛直循環を形成し，底層部の嫌気状態を緩和することを目指す．

３．現地調査

(1) 概要

大阪湾奥に位置する鳴尾浜（兵庫県西宮市）では，最近小規模な青潮が毎年発生するようになった[1),2),3)]．鉛直循環装置としては，岸壁のコーナー部付近に水中ポンプ（11kw，８インチ）を設置し，表層水を海底上 0.8m に送水する方式とした（**図-2** 参照）．なお，今回の測定では，図-1 に示すように岸壁に向かって送水するのではなく，図中に矢印で示す方向（沖向き）に放出した．初期のポンプの流量は 4m³/分であったが，撤収後のパイプ内にかなりのゴミが詰まっていたこと，および日常の観察から実験開始後１週間程度で流量が小さくなったのではないかと推察された．水温，塩分および DO の測定は，水質計 U-10（ホリバ製作所製）を用い，図中に示す丸印の箇所で海底（-5.5m）から 0.5m 上より 0.5m 間隔で実施した．測定は H18 年の 6/29 から 9/1（ポンプは 7/3 運転開始）までの期間で 15 回行った．

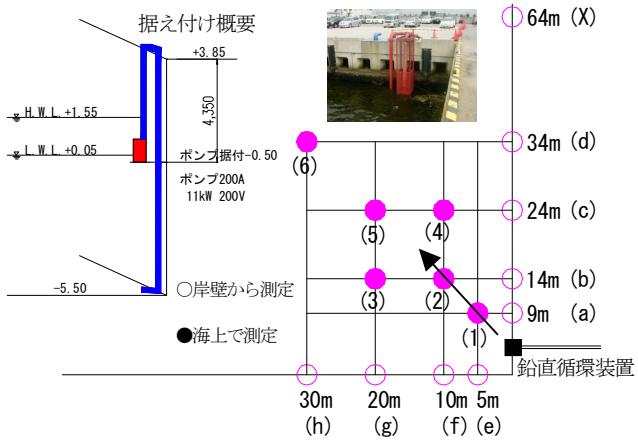

図-2 鉛直循環装置および計測地点

(2) 結果

海底上 0.5m における DO の観測期間中の変化を**図-3** に示す．測点 1-6 では循環装置を設置後 DO の急激な上昇が見られるが，7/19 以降では急激に低下している．また，岸壁沿いに放流地点 64m 離れた測点 x においても，増加量は小さいが測点 1-6 と同様の変動が生じている．別途実施の測点 x の 10 分間隔の連続測定値（海底上 0.5m）も同様に変化した．7/12 から 7/19 にかけての急激な低下は放水流量低下に対応した挙動と考えられる．

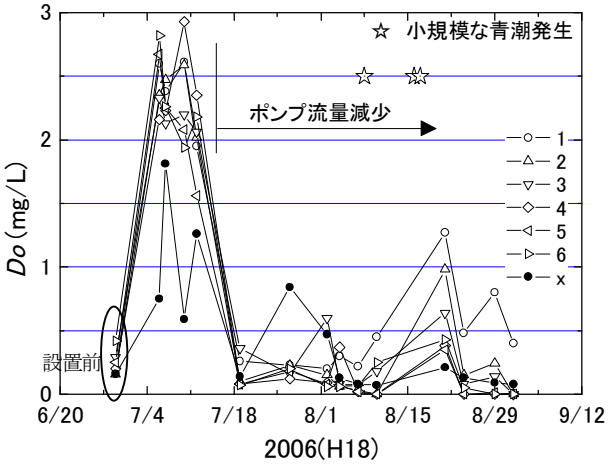

図-3 DO の測定結果（海底上 0.5m）

同様に *PSU* の測定結果を**図-4** に示す．測点 1-6 の *PSU* は測点 x のそれに比べて小さくなっている．また，紙面の都合上で示すことができないが，水温も DO が大きくなる測点では高くなった．これらのことは，底層での水質の変動が表層水の影響によることを示唆している．

図-5 は，放水流量が大きかったと考えられる期間（7/3-7/13）における測点 x の DO の鉛直分の日変化を示す．表層水放流前の 6/29 には海底上 4m 付近まで無酸素状態であった．表面から海底上 4m 付近まで急激に DO が減少するのは放流前後で同じであるが，放流後はそれより深いところでも無酸素とはならず，7/10, 11 では海底付近で DO が増加する分布形状となった．なお，成層流体中へ放出される密度噴流の理論 [4]によってこの期間における放出水の上昇量を推定すると 3-4m となり，現地の状況と整合しているようである．

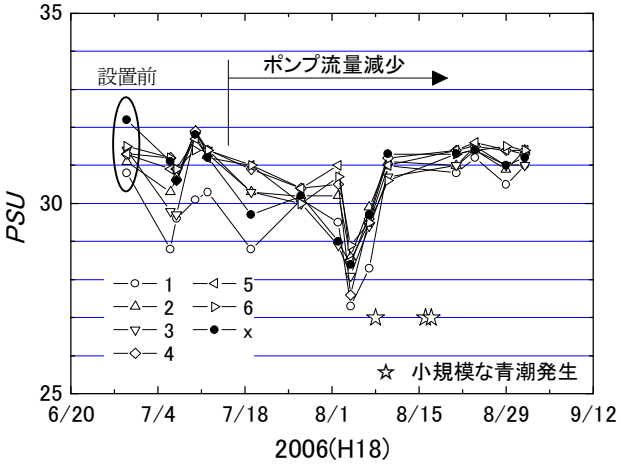

図-4 *PSU* の測定結果（海底上 0.5m）

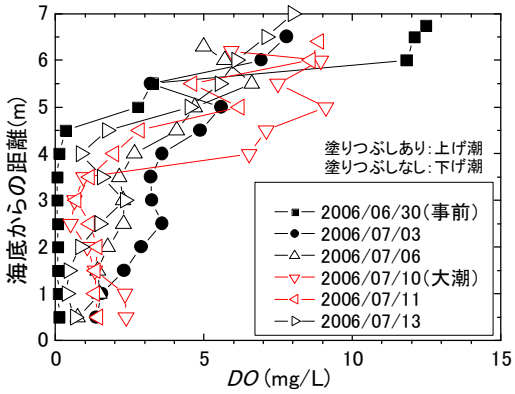

図-5 DO の測定結果（測点 x：下げ潮時）

4．おわりに

現地調査の結果は，潮流の影響なども含めて評価する必要があるが，表層水がすぐには上昇することなく底層部を流れることが確認された．今後は，MEC モデルなど高精度の物理モデルを用いて，本装置の最適な配置を検討する予定である．

参考文献

1) 入江ら(2003)：湾奥部停滞性水域の貧酸素水塊の挙動に及ぼす風応力の影響，土木学会第 58 回年次学術講演会講演概要集，2-312.

2) 西村ら(2004)：尼崎西宮芦屋港における貧酸素水塊の涌昇に関する連続調査，土木学会第 59 回年次学術講演会講演概要集，2-161.

3) 藤原ら(2005)：大阪湾で発生した青潮の現地調査，海洋開発論文集，第 21 巻，pp. 361-366.

4) 土木学会編：新体系土木工学，22 密度流の水理，技報堂出版，pp. 62-125，1980.