

海水循環技術と現地実験について

春山 哲彦

近畿地方整備局 神戸港湾事務所 沿岸防災対策室 (〒651-0082 兵庫県神戸市中央区小野浜町7-30)

大阪湾では、湾奥部の底層溶存酸素量が不足するなど、慢性的な水質汚濁に対して、「大阪湾再生行動計画」を策定し、環境改善施策が推進されているところである。

このような中、海域環境改善の一方策として、窪地状の地形である堺泉北港堺浜において、表層の低密度水を窪地底層に放流する海水循環技術を利用した現地実験を約2ヶ月間試験的にを行い、その前後期間に水温・塩分などの経時変化を確認するモニタリング調査を行った。

本研究では、その海水循環技術の概要と現地実験1年目の調査内容について、報告する。

キーワード 海域環境，海水循環，モニタリング，現地実験，貧酸素水塊

1. 技術開発の目的および背景

大阪湾は、瀬戸内海の東端に位置する閉鎖性海域であり、慢性的な水質汚濁に対して、様々な環境改善施策が推進されているところであるが、特に湾奥部は、流況(海水)の停滞性が強く、大阪湾に点在する窪地では、夏季及びその前後に貧酸素水塊が発生している状況である。窪地内の貧酸素化対策として、窪地の埋め戻しや、酸素供給装置による曝気が挙げられる。しかし、窪地の埋め戻しは、事業を進めるのに多大な時間と費用がかかることや、船舶航行に支障を来すといった問題がある。また、曝気による改善は、閉鎖性水域であるダム湖では実用化しているものの、開放的な海域で実用化している例はない。

このような背景を踏まえ、窪地の貧酸素対策を実用的に実施できる技術として、海水循環技術の現地実証実験を行う。

2. 概要

(1) 海水循環技術の概略

本検討における海水循環技術とは、低密度水を窪

地の底層に放流し、密度差により低密度水が浮上する力を利用して海水循環を起し、窪地の貧酸素化を防ぐ技術である。

そのメカニズムは図-1に示すとおりであり、①表層水や下水処理水といった高温・低塩分の密度が軽い水を窪地内へ導水し、②浮力と連行で窪地内の冷たく密度の重い水塊の解消を促進し、③同時に起こる鉛直循環流によって、外部の海水を水平方向に引き込むことで、窪地水と直上水との海水交換を促進し、窪地内の貧酸素水塊を低減する。

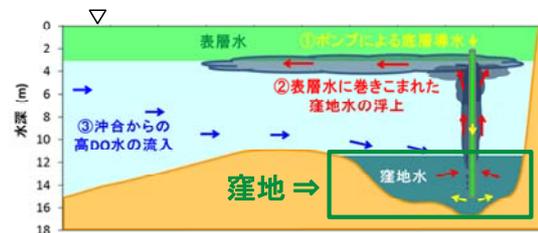


図-1 海水循環技術の効果発生メカニズムのイメージ

(2) 実験内容

a) 実験対象水域の特徴

現地実証実験は、一級河川大和川の河口部に位置する、堺泉北港堺浜(堺2区北泊地、次頁の図-2)で実施した。

この水域を実験場所とした主な理由は、①水域入口の水深(平均水面下約11m)よりも、水域内が深い窪地形状(最大水深が平均水面下約18m)となっているため、冬に形成された冷たく重い水塊が、密度成層ができる春から秋にかけて底層に滞留し続け、無酸素化する、②水域内の表層水が大和川の影響で低塩分となっており、本技術で必要となる低密度水として利用できる、③水域内に大阪湾水質定点自動観測所(堺浜MP)が存在しており、平均水面下約10m以浅の水温・塩分・D0等の連続データが取得可能ということである。

b) 実験装置の設置イメージ

水域内の表層水を窪地内へ導水するために用いた実験装置の設置イメージを図-3に示す。本装置はD.L. -1m(平均水面下約2m)の水塊を12,000m³/日の流量で窪地内に導水した。導水は2016年7月19日～9月18日に実施した。

(3) モニタリング調査の内容

水温、塩分、密度、D0等の空間分布やその経時変化を確認するため、以下のモニタリング調査を実施した。調査内容を表-1、表-2に示す。(次頁に続く)

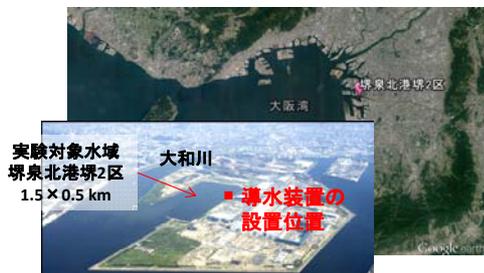


図-2 現地実験の対象水域(堺泉北港堺浜)

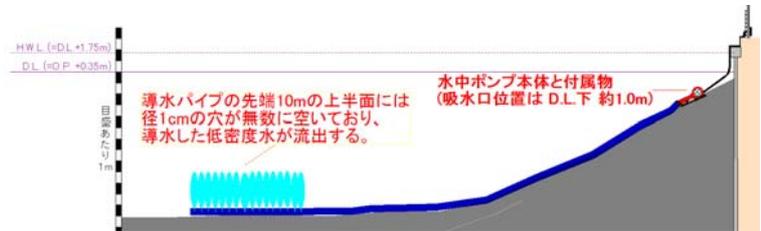


図-3 実験装置の設置イメージ

表-1 現地環境調査毎の主な役割

調査区分	主な役割
プレューム調査	装置の稼働開始時において、低密度水が窪地水内に導水されて、窪地内の冷水を連行して中層へ浮上していることを確認する。また、浮上水塊が表層付近まで浮上していないことを確認する。
連続調査	調査期間中の窪地内の密度(水温・塩分)を連続計測し、装置非稼働時(平成27年度の事前調査時)との比較を行うことで、低密度水の導水によって窪地内の冷たく重い溜まり水の解消が促進される効果を検証する。
水質調査①	調査期間中の密度とD0の空間分布を計測し、装置非稼働時(平成27年度の事前調査時)との比較を行うことで、低密度水の導水で窪地内の冷たく重い溜まり水の解消が促進される効果と、窪地内の無酸素水塊の存在期間の短縮効果を検証する。
水質調査②	低密度水の導水期間中において窒素・リン・硫化物濃度等を採水分析し、窪地内の高濃度の窒素・リンや硫化物が表層付近に浮上していないことを検証する。

表-2 現地環境調査毎の内容

調査区分	調査方法	調査項目	地点数	調査回数	調査層
プレューム調査	水質計による鉛直測定	水温、塩分	1点(放流口周辺で詳細測定)	計1回(7月19日)	放流口から鉛直上方へ1mごと
連続調査	水温・塩分計の設置	水温、塩分	1点(堺浜MP位置)	計1回(7/4～11/30)	海底面上4, 3, 2, 1m
水質調査①	水質計による鉛直測定	水温、塩分、濁度、D0など	18点(Stn. 1～18)	計13回(7/月上旬～11/下旬)	深度0.5m間隔
		pH	1点(Stn. 11)		
水質調査②	採水分析	窒素、リン、硫化物など	4点(堺浜内地点、大和川地点、大和川合流点、沖合地点)	計1回(8/2)	堺浜内地点⑪(海面下0、2、4、10、15m) 大和川地点⑬(海面下0m) 大和川合流点④(海面下0、2、4m、海底面上1m) 沖合地点①(海面下1m、1/2水深、海底面上1m)

(モニタリング調査の内容)

a) プリューム調査

導水した低密度水が、窪地内の冷たく重い水塊を連行して実験対象水域の入口の水深より浅い層へ浮上し、なおかつ表層付近までは浮上していないことを検証するため、導水開始時において、浮上するプリュームの水温・塩分を、図-5に示すイメージで計測した。

b) 連続調査

窪地内の冷たく重い水塊の解消が促進される効果を検証するため、大阪湾水質定点自動観測所(堺浜MP、図-4中の◆地点)において、自動観測の範囲外となっている底上4, 3, 2, 1m(平均水面下約11, 12, 13, 14m)で、水温・塩分を連続計測した(図-6)。

c) 水質調査①

窪地内の冷たく重い水塊の解消が促進される効果と、窪地内の無酸素水塊の存在期間が短縮される効果を検証するため、図-4の地点1~18において多項目水質計による水質鉛直計測を行い、密度(水温・塩分)、D0の空間分布を把握した。

d) 水質調査②

窒素・リン・硫化水素を多く含んだ窪地内の水塊を浮上させたことで、実験対象水域内およびその周辺の表層でそれらの濃度が上昇していないことを検証するため、図-4地点1, 4, 11, 19を対象に、装置稼働期間中(8月上旬)に採水分析を実施した。なお、図-7に各調査の実施時期を示す。

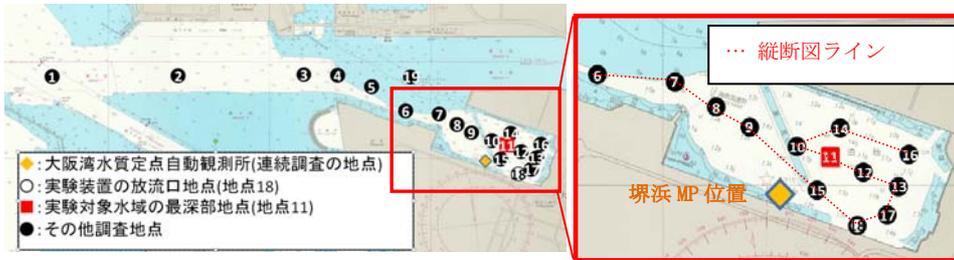


図-4 調査地点図

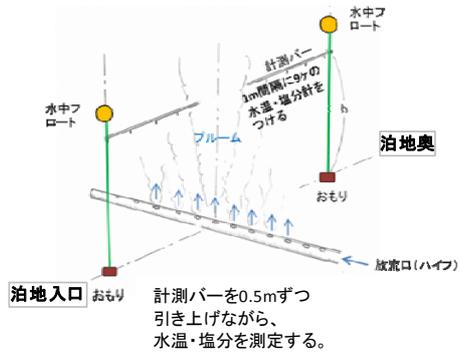


図-5 プリューム調査の計測イメージ

平成28年度	7月	8月	9月	10月	11月
導水期間	←→				
プリューム調査	↑				
連続調査	←→				
水質調査①	↑	↑	↑	↑	↑
水質調査②		↑			

図-7 導水とモニタリング調査の実施時期

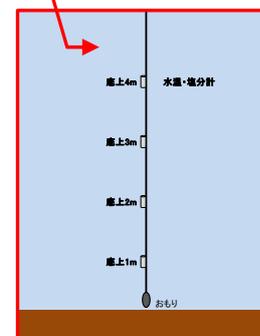
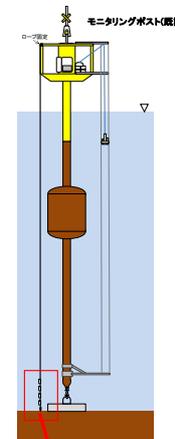


図-6 連続調査の計測イメージ

3. 調査結果

(1) 放流水のプリュームの形成状況

導水の開始前後における放流口位置の水温・塩分分布を比較すると、導水開始後には低温・低塩分の水塊が水深8mまで浮上していることが確認された(図-8)。このことから、窪地底層へ放流された低塩分 waters は窪地内の冷水塊を連行して実験対象水域の入口の水深(平均水面下約11m)より浅い水深へ浮上し、かつ、表層付近までは浮上していないことが確認された。

(2) 密度躍層の季節変化

連続調査において、導水開始の約20日後となる8月6日以降、窪地内の水温は顕著に上昇し、導水を終了した9月18日の時点で、2015年度に実施した事前調査(導水無し)での同時期に比べ、2~3℃程度高い水温となった(図-9上図)。また、窪地内の水温上昇に伴い密度が低下したことで、中層側(底上4m)と底層側(底上1m)との間の密度差は、同時期的事前調査よりも小さくなった(図-9下図)。

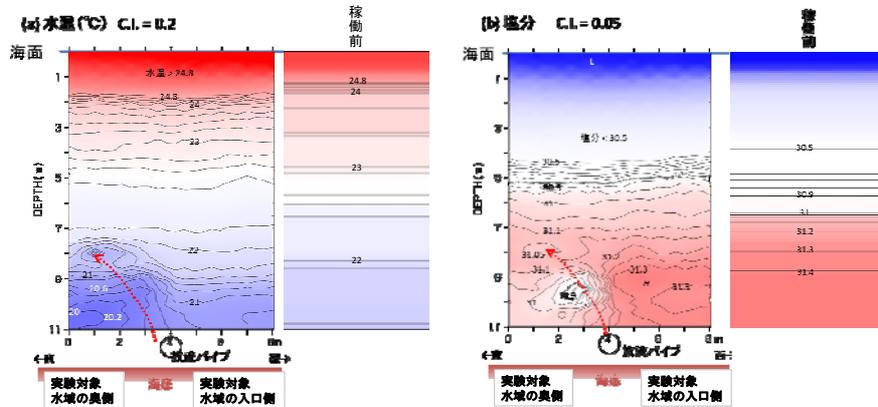


図-8 プリューム調査結果

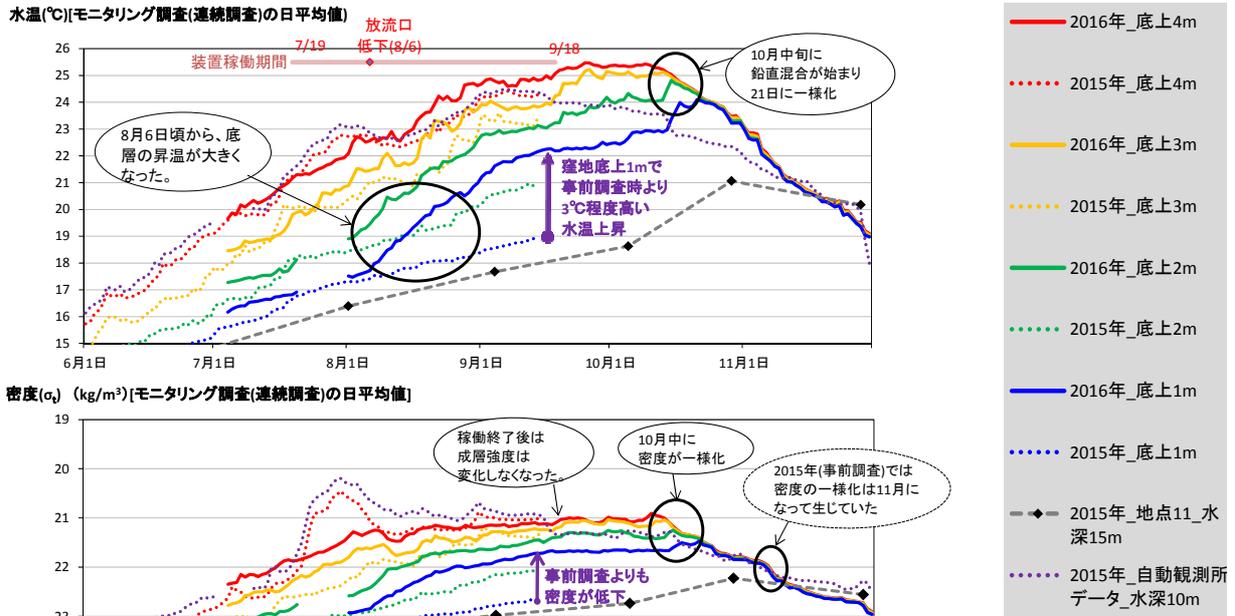


図-9 連続調査結果(上図:水温、下図:密度 σ_t)

(備考)
底上4,3,2,1mは平均水面下で、約11,12,13,14m

水質調査①(密度)の本調査では、10月下旬調査の時点で外海の高密度水が窪地内へ流入していた(図-10上段)。一方、事前調査では、10月下旬調査の時点では窪地内に重い水塊が残り、外海水は窪地内へ流入していなかった(図-10下段)。

この差は、装置稼働により窪地内の密度が低下し、中層との密度差が小さくなった効果と考えられる。

(3) 貧酸素水塊の形成状況

水質調査①(DO)の本調査では、10月下旬調査の時点で、窪地の最深部付近を除いて無酸素状態が解消した。また、11月下旬調査の時点では、窪地内のDOは3.5mg/L以上となっていた(図-11上段)。

一方、事前調査では、10月下旬調査の時点で窪地全体に無酸素水塊が残っていた。また、11月下旬調査時点においても、2mg/L以下の貧酸素水塊が残っていた(図-11下段)。

本調査で窪地内のDO上昇が10月下旬の時点で生じたのは、実験装置の稼働により窪地水の密度低下が早まったことで、外海の高DO水が早く窪地内へ流入したためと考えられる。

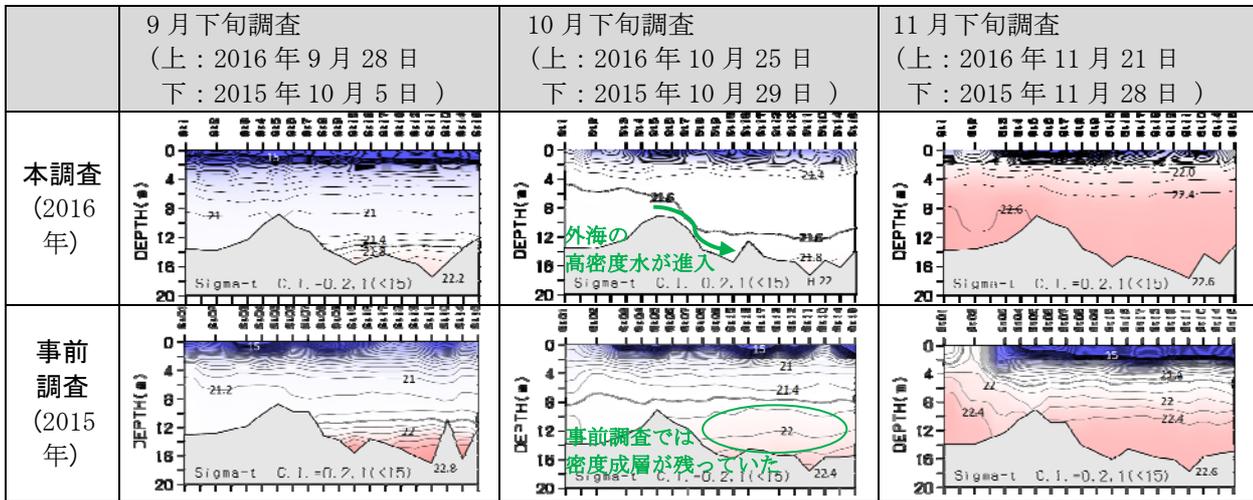


図-10 水質調査①結果(密度 σ_t の鉛直縦断分布)

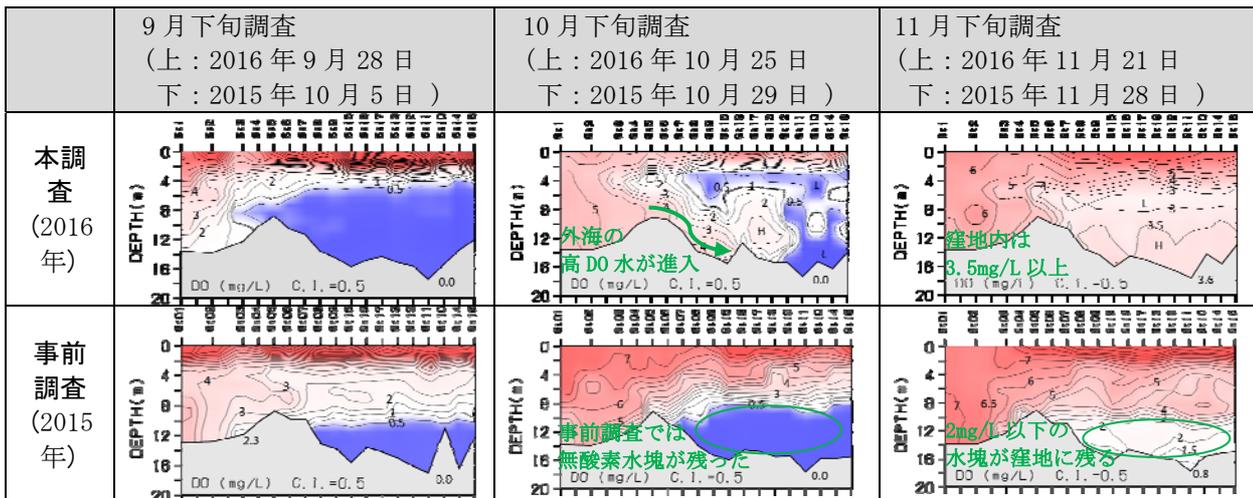


図-11 水質調査①結果(DOの鉛直縦断分布)

(4) 実験中の表層の窒素・リン・硫化水素濃度

水質調査②の結果、泊地内の水深10m以浅、および泊地外の地点において、全窒素・全リンの濃度は、通常時と同程度の濃度であり、硫化水素の濃度は定量下限値未満であった(図-12)。これらのことから、窪地内水塊の浮上による影響は確認されなかった。

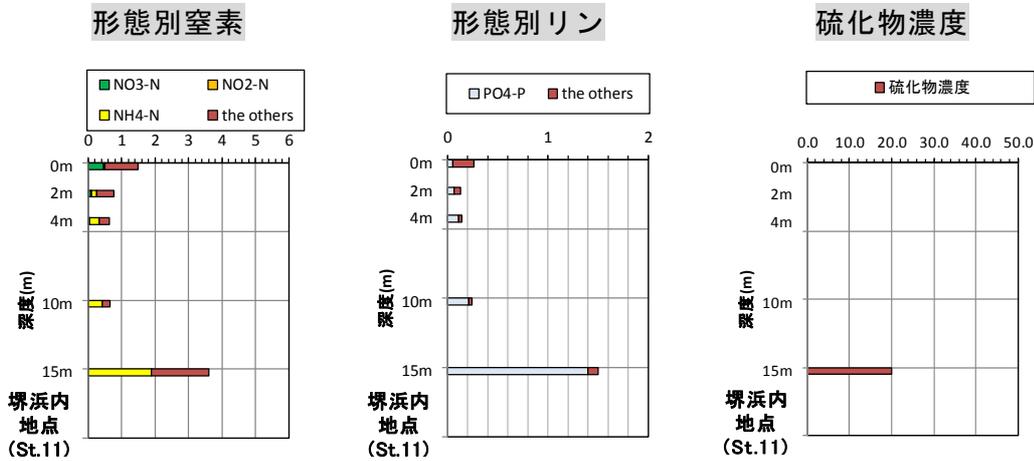


図-12 装置稼働期間中(8月2日)における堺浜内のN, P, 硫化物濃度の鉛直分布状況

4. おわりに

本論文では、海水循環技術を利用した現地実験とモニタリング調査について、報告した。

2016年度(1年目)は、密度成層が発達し窪地内が無酸素化した夏季を対象として、導水実験とモニタリング調査を実施した結果、窪地内の停滞水塊の水温上昇(密度低下)を早め、貧酸素水塊の解消時期を約1ヶ月早める効果が得られた。

2017年度(2年目)には、実験時期を変えて導水の開始時期を早め、春季から夏季にかけての貧酸素水塊の発生を遅らせる効果を確認する実験を行う予定である。

また、実験後、実海域実験の取りまとめや課題の整理、技術評価など、技術の確立に向けた検討業務を進める計画になっており、今後、大阪湾奥部における水質環境の改善に寄与するものと考えられる。

巻末：

今回の論文は、従前の所属先(神戸港湾技術調査事務所)における所掌内容を課題として、報告したものである。