

閉鎖性水域の強制循環による水質改善

—海域の実工事における改善効果—

宮岡 修二 辻 博和

Study on the Water Circulation System to Improve a Semi-enclosed Water Environment

— Improvement Effects of the Water Circulation System in a Marine Area —

Shuji Miyaoka Hirokazu Tsuji

Abstract

In recent years, oxygen-deficient water is being formed in many semi-enclosed waters, such as canals and ports, due to the load from rivers in addition to oxygen consumption in bottom sediment and poor water circulation. In general, bottom sediments have been dredged in order to improve the water environment. But there is little space to dump it. An alternative method is to artificially promote water circulation in order to move the surface water that has a high dissolved oxygen concentration to the bottom. We applied the method in a port. The system consists of air compressors, rubber tubes and unique pipes. One end of a pipe was fixed on the bottom and the other end was kept in the water by floats. Air floated up through the pipe, so the bottom water flowed up to the surface. Two months after starting to run the system, the dissolved oxygen concentration of lower water was higher than 2 mg/l, which is the criterion of water quality standard grade V, thus showing the effectiveness of the system.

概 要

沿岸の運河、港などでは、流入河川の影響のほか、堆積したヘドロ、水の停滞により、しばしば水域が貧酸素化する現象がみられる。その対策として、水域内では、一般に浚渫による底質改善が図られてきた。しかし、浚渫は処分場不足という問題を恒常的にかかえている。そこで、貧酸素化の著しい岸和田旧港において、浚渫をしない水質改善対策として、間欠式空気揚水筒を用いる水質改善技術が適用された。間欠式空気揚水筒は、空気圧送機、送気ホース、特殊な円筒からなる装置である。この円筒状の装置は、片側を水底面に係留し、もう片側は浮きを装着して自立させる。これに送気して間欠的に気泡弾を水面へと上昇させ、底層水を連行させて揚水する。こうして水循環を促進し、溶存酸素濃度の高い上層海水を下層に供給した。装置の運転開始から2ヶ月後、下層の溶存酸素濃度が2mg/l（環境基準V類型）を越え、強制循環の水質改善効果が確認された。

1. はじめに

近年、都市部のウォーターフロントは、物流、アメニティ、生物との共生など多くの視点からその有用性が見直され、各地で整備事業が計画、実施されている¹⁾。ところが、こうした水域の多くは、赤潮に代表される植物プランクトンの大量発生や貧酸素水塊の発生、水生生物の減少といった水域環境の悪化が進んでおり、その浄化が求められている。

浄化に際しては、汚濁の直接的な原因に対する対策、すなわち、流入負荷の低減と、浚渫などによる底質からの内部負荷の低減が第一である。しかし、過去の水際開発の中で、水際線を自然護岸から人工護岸へ移行したり、閉鎖性水域を生み出して、水域自身のもつ浄化機能を低下させてしまったことも水域環境の悪化の要因となって

いる。したがって、汚濁負荷対策とともに、直接浄化技術によって水域自身に働きかけ、自然の浄化機能を引き出し、増強することも重要である。

さて、再開発事業の進められている阪南港岸和田旧港では、夏場に水が無酸素状態となり、嫌気性条件のもとで硫化水素等の悪臭物質が発生することから、その改善が求められていた。そして、現地調査結果に基づき、数種の環境改善対策を提案してきた^{2)~4)}。こうした経緯を経て平成9年度に、間欠式空気揚水筒を用いて鉛直方向に水循環を促進し、水域の貧酸素化を防止する水質改善工事が実施された。

間欠式空気揚水筒による直接浄化の事例はダム湖等の陸水域では多数ある。しかし、陸水とは水質や潮汐条件などが異なる海域を対象とした報告は少ない⁵⁾。そこで、本報告では、強制循環による水質改善システムの概要を

述べるとともに、海域での実施例について、対策前の状況、対策の内容、対策後の経過を報告する⁶⁾。

2. 強制循環を用いた水質改善技術の概要

2.1 適用水域

この技術は、主としてFig. 1に例示するような貧酸素水塊を形成する閉鎖性水域に適用する。

2.2 技術の概要

Fig. 2に示すように、対象とする閉鎖性水域内に装置を設置して水の鉛直混合を促進する。揚水筒は水底から浮きで自立させて設置する。陸上のコンプレッサから空気を送り、揚水筒下部の空気貯留室に貯える。室内が送られた空気で満たされると、一気に放出し気泡弾が発生する。この気泡弾に連行させて底層水を水面へと上昇させ、鉛直方向の水循環を促進する。上層水中には大気からの溶け込みや光合成、外海との海水交換によって酸素が供給される。鉛直方向に水循環を促進することで、上層水中の酸素を下層へと供給し水域の好気化を図る。

2.3 技術の特長

水域が貧酸素化する原因としては、流入負荷のほか、水域内においては、①有機底質による酸素消費、②閉鎖的な水域形状や密度成層による水の停滞による下層水への酸素供給量の低下をあげることができる。なお、密度成層とは、陸水の流入や表層付近の水温が温められるこ

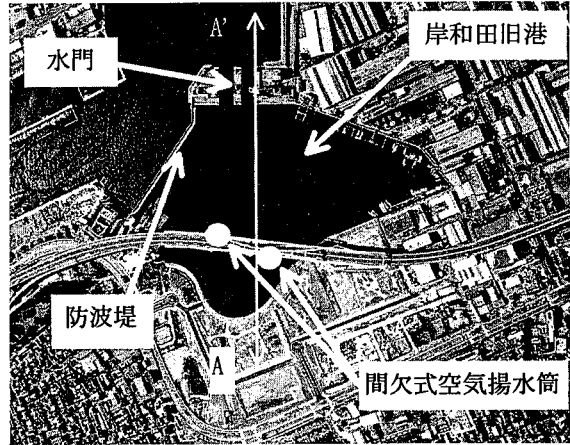


Photo 1 岸和田旧港の全景
Location of Kishiwada Bay

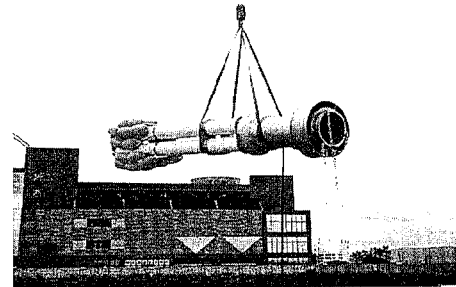


Photo 2 間欠式空気揚水筒の設置状況
Setting the Equipment of Promoting Water Circulation

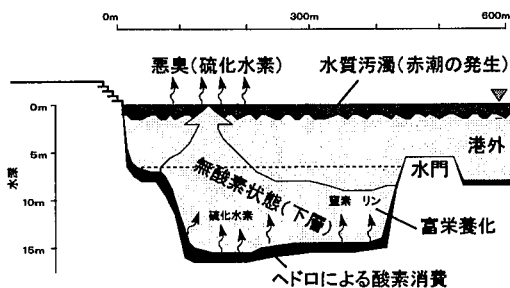


Fig. 1 閉鎖性水域における貧酸素化の一例 (断面図)
Typical Phenomenon of Oxygen-Deficient Water Formation

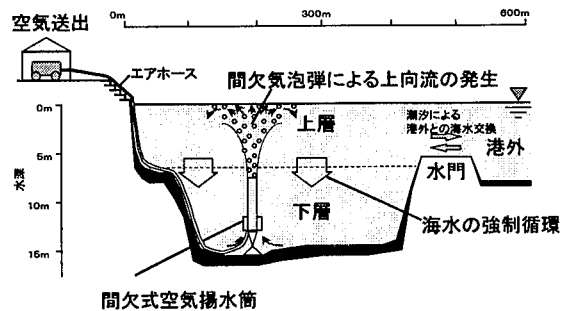


Fig. 2 強制循環を用いた水質改善技術
Method to Promote Water Circulation

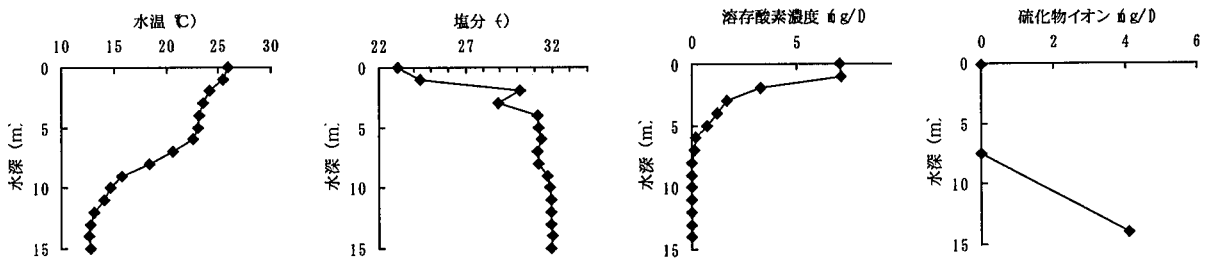


Fig. 1 工事前の港内中央における水質の鉛直分布(97. 7. 14)
Vertical Distribution of Temperature, Salinity, Dissolved Oxygen and Sulfide Ion (14 July 1997)

とで、相対的に表層付近の水の密度が小さくなり、鉛直方向に密度差が生じて、上層と下層が対流、混合しにくくなる状態をいう。

強制循環による水質改善は、上記のうち特に②の改善を目的とした対策である。

3. 海域における実工事

3.1 岸和田旧港の諸元

阪南港の最奥部に位置する岸和田旧港は高潮時の避難港となっている。Photo 1に示すように港の前面には防波堤が設置されており、港外とは水深約5m、幅15mの水門2経路のみで連絡している。当港は平均水深が約10m、最大水深が約15mの茶碗型の形状をしており、水面積は約15ha、水量は約150万m³の水域である。

3.2 対策前の夏場の状況と改善目標

Fig. 3は、対策実施前の1997年7月14日に、港内中央で計測した水温、塩分、溶存酸素濃度、硫化物イオン濃度の鉛直分布である。上下で海水温の較差が大きく、かつ、表層の塩分は低くなっており、明瞭な密度成層が形成されていた。溶存酸素濃度は水深6m以深でほぼ0mg/lとなり、底層水中には硫化物イオンが高濃度に溶存し、強い悪臭が認められた。一方、水底にはCOD_{Mn}が30~50mg/g、酸揮発性硫化物含量が2.4~6.7mg/gの嫌気性黒色泥が堆積していた。

例年、夏場にはこの貧酸素水塊が湧昇して、周囲に悪臭が拡散することが問題となっていた。そのため、この臭気を解消することが環境改善の目標とされた。

3.3 環境悪化の要因と改善対策

硫化水素をはじめとした悪臭物質は嫌気状態において活発に生成され、好気状態では存在できない³⁾。そこで、悪臭の発生を防止するには、水域の溶存酸素濃度を回復させることが必要と考えた。その方策として、①強制循環による下層への溶存酸素の供給、②覆砂による底質の酸素消費速度の低減が有効と考えられた^{2)~4)}。

平成9年度、①の対策として揚水筒の設置、運転が実施された。②に関しては、浚渫土砂による覆土が小規模に行われた。

3.4 間欠式空気揚水筒の仕様

揚水筒の全景はPhoto 2に、仕様はTable 1に示す通りである。設置位置は、できるだけ底層の海水を揚水できるように、水域内の最深部2カ所とした (Photo 1)。

3.5 間欠式空気揚水筒の運転経過

揚水筒は、設置工事の終了後の7月16日から運転を開始した。運転中は、Table 3にあるように、気泡弾が水面でくだけ、その波紋が表層を同心円上に広がっていくのが確認された。この気泡弾は、およそ10~15秒に1度の頻

Table 1 間欠式空気揚水筒の主な仕様
Specification of the Equipment to Promote Water Circulation

間欠式空気揚水筒	機種	MBN-4-0400-0600
	寸法・概形	φ0.4m×4本組×延長6m
	材質	上部：FRP，下部：ステンレス
	基数	2基
	設置場所	港内最深部2地点
沈用送気ホース	気泡弾発生頻度	10~15秒に1回
	材質	合成ゴム
	寸法	内径φ25mm，外径φ43.5mm
コンプレッサ	数量	1100m (510m, 590m)
	設置場所	陸上，ハウス内
	ハウス寸法	4.8m×3.6m×2.9m
	規格	15kw-200V ハイスクリュー
	数量	2台
運転期間	送気量	約2m ³ /分 (1台あたり)
		H9/7/16~H9/10/31 (うち、7/28~8/28の間は移設して運転)

Table 2 土砂投入工の概要
Summary of Sand-Covering Work on the Small Site

工事概要	汚濁拡散防止膜の展張水域内への底層バージ船による土砂の投入	
投入場所	岸和田旧港内中央	
投入土砂	阪南港，泉北港内の航路浚渫土砂	
数量	投入土量	5,000 m ³
	投入面積	5,000 m ²
	覆土厚	約1m
工期	平成9年8月	



Photo 3 気泡弾による底層水の揚水
Scene of Flowing Up the Lower Water with the Crowd of Air

度で発生させた。

揚水筒による水質改善工事と並行して、8月に土砂投入工が実施された。Table 2 に概要を示すように小規模ではあったが、工事の障害になることから、この工事期間中は揚水筒を約100mほど移動し、工事後は元の場所に再設置した。なお、この間も装置の運転は継続した。

冬場にかけては密度成層が壊れて底層の溶存酸素濃度が回復する。そこで、10月31日をもって装置を停止し、整備のため陸上に回収した。

3.6 改善効果

3.6.1 調査方法 調査は1~2週間に1度の頻度で実施した。港内数地点および港外1地点において、透明度

と投込型水質計 YSI85 を用いた水温、塩分、溶存酸素濃度の鉛直分布の計測した。同時に上層（水面下-1m）、中層（1/2 水深）、下層（底面+1m）の海水を採取し、硫化物イオン、全窒素、全リンを測定した。水質分析は JISK-0102 に従った。また、自記式水質計測器 MWQ-III を水深約 15m の港内中央に係留し、水温、塩分、溶存酸素濃度の変動を 1 時間おきに測定した

3.6.2 調査結果および考察 Fig.4 は、自記式水質計測器で測定した水温の経時変化である。揚水筒の運転開始後、底層水温が上昇しており、鉛直方向に水循環が促進されたことが確認された。Fig.5 には、港内中央における溶存酸素濃度の変動を示した。溶存酸素濃度は、運転開始から延べ 64 日目となる 9/18 に底層で 1.1mg/l となり、それ以後は 3~4mg/l で推移した。悪臭の主原因であった硫化物イオンの濃度は、運転開始前底層で 4.1~8.6mg/l であったが、延べ 35 日目となる 8/20 以降は 0.1mg/l 未満となり、解消された。

Fig.6 に示すように、対策前は例年 5 月から 10 月にかけて、底層の溶存酸素濃度はほぼ 0mg/l のままであった。平成 9 年は、9 月に溶存酸素濃度が回復したが、これは強制循環の効果によると推察される。

なお、運転当初、下層に蓄積した硫化物イオンを揚水することになったが、風下の護岸において特異な臭気は認められなかった。また、揚水による底泥の巻き上げも確認されなかった。

4. おわりに

揚水筒を用いて鉛直方向に水循環を促進した岸和田旧港において、初年度の追跡調査を行った。その結果、装置稼働から 1~2 週間で底層水温が上昇し、約 2 カ月後には溶存酸素濃度が回復した。

平成 10 年度以降も、引き続き強制循環による水質改善対策が夏場に実施されている。追跡調査を継続するとともに、揚水筒による流動促進効果、水域の酸素収支の評価手法について調査研究を進めており、これらの成果については、追って報告する。

謝辞

本調査は、岸和田港湾都市株式会社のご協力の下に実施した。現場事務所の吉津所長、亀井副所長には現地での諸作業の調整をしていただいた。ここに記して、謝意を表します。

参考文献

- 1) 深見正彦：日本における港湾環境政策，ヘドロ，No. 71, p. 3~12, (1998)
- 2) 宮岡修二，石垣衛，辻博和：成層化する閉鎖性港湾の浄化に関する研究その 1，土木学会第 51 回年次学

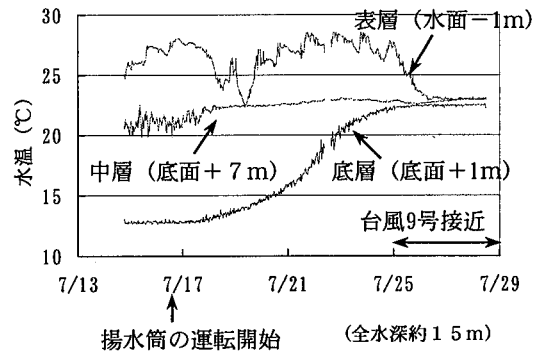


Fig. 4 港内中央地点の水温の初期変動
Time Course of Temperature in the Early Stage

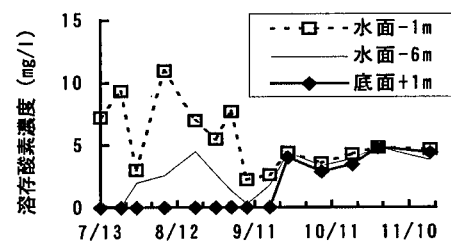


Fig. 5 港内中央の溶存酸素濃度の変動(1997)
Variation of dissolved oxygen in 1997

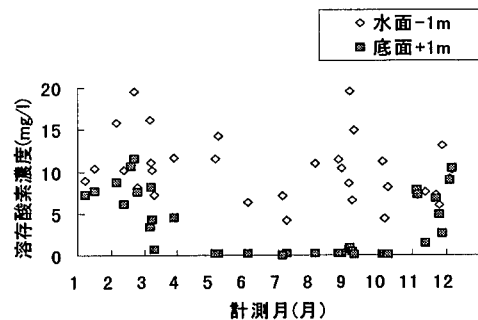


Fig. 6 過去の港内中央の水温、溶存酸素濃度の変動
Variation of dissolved oxygen in past years

術講演会，VII, p. 350~351, (1996)

- 3) 石垣衛，宮岡修二，辻博和：成層化する閉鎖性の浄化に関する研究その 2，土木学会第 51 回年次学術講演会，VII, p. 352~353, (1996)
- 4) 宮岡修二，石垣衛，辻博和：貧酸素水塊を形成する閉鎖性港湾の浄化に関する研究，大林組技術研究所報，No. 54, p. 93~98, (1997)
- 5) 北上晃：大船渡湾水質浄化への取組み，港湾，vol. 11, p. 29~32, (1996)，等
- 6) 宮岡修二，石垣衛，辻博和：貧酸素水塊を形成する港湾域における水循環の促進による水質改善，水環境学会第 32 回年会，p. 153, (1998)
- 7) 寒川喜三郎，日色和夫編著：最新の底質分析と化学動態，p. 77~116, 技報堂出版，(1996)