

# 海域環境浄化堤の開発

平田敏明、伊藤幸一、今村邦彦、丸下清志

Development of the Environmental Clean-up Bank in the Sea Area

HIRATA Toshiaki, ITO Koichi, IMAMURA Kunihiro, MARUSITA Kiyoshi

Recently, the eutrophication in the closed sea area is progressed by the flow-in pollution and the accumulated pollution. It causes the proliferation of algae. Next it causes water pollution.

So we examined here the method of doing a cheap, large-scale purification. It use natural energy on the purifying function of ecosystem (microorganism) and high and low tides. We produced the bank for purification, and executed this examination. The results were as follows.

The purification rate  $COD_{OH}$  of the bank which had been used by the examination is 0.15-0.22(mgO/l) / time. The possibility of the purification of the sea area was found by setting up the environmental clean-up bank in a real sea area.

キーワード：環境、海洋、浄化、水質、堤防

## 1 緒言

近年、閉鎖性水域においては、汚濁物質の流入・蓄積により富栄養化が進行し、藻類の増殖による水質汚濁が問題となっている。広水域の水質浄化については、河川などからの汚濁物質の流入負荷を低減させると共に、海底に堆積したヘドロの除去、ヘドロからの汚濁物質の溶出をなくすことが重要であるが、比較的限られた海域での水質浄化は海水の直接浄化が有効である。県内でも水質汚濁の指標である COD（化学的酸素要求量）については、類型指定がなされている 15 海域中の 10 海域で環境基準が達成されていない状況で、環境保全が大きな問題になっている。ここでは自然の生態系（微生物）の持つ水質浄化機能と潮汐による自然エネルギーを利用して安価に大規模な浄化を行う方法を検討し、養殖海域、人工海浜等の適用への基礎研究とする。

## 2 実験方法

### 2.1 試験装置

海域を想定した浄化装置を設計しこれを試作した。この浄化装置の構成を図 1 に示す。

装置は浄化堤を設置した浄化槽（450 リットル）と、この水槽に海水を出し入れするためのタンク（300 リットル）2 個の合計 3 個から構成され、各々はホース（呼び径 25）で接続されている。この排水タンクに採取した海水を入れた状態で試験を開始する。排水タンクの中の海水は給水タンクに揚げられる。給水タンクの海水は浄化槽内に設けた浄化堤の片側（海洋側）から入り、満ち潮となり浄化槽を満たす。浄化槽が満水

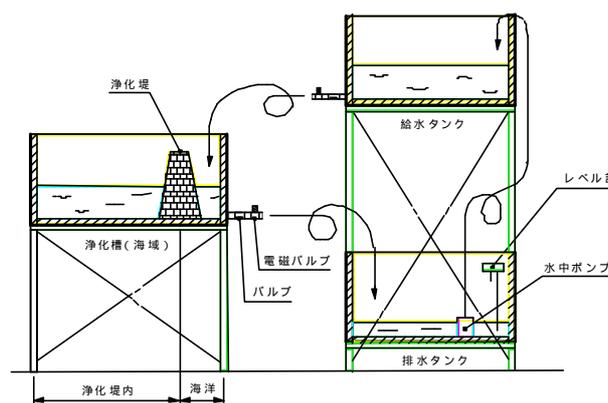


図 1 浄化装置の構成

になると、次は引き潮となり浄化槽の海水は排水タンクへ排出される。給・排水のタンクと浄化槽間の開閉は電磁バルブで行い、開閉時間はタイマーにより任意（0.3min. ~ 30h）に設定できる。また排水タンクからの揚水には水中ポンプ（40 リットル / min）を使用し、海水の減少は水位レベル計で検出する。これら一連の動作はシーケンス制御方式とし、本試験では 1 サイクルを約 2 時間に設定して連続運転を実施した。

### 2.2 浄化堤および礫と微生物の着床

浄化堤は礫を積み上げたもので、ここを海水が通過する時、礫に付着した微生物によって海水が浄化される。浄化堤の形状は、安定を良くするために下側を大きくし、また積み上げた礫の形状を保つため外殻を塩ビパイプで枠組みした。さらに積み上げた礫が崩れ落ちないように、パイプ表面に針金と化繊のネットを張り全体を囲った。浄化堤は上面 73 × 23cm、下面 65

×30cm、高さ53cmである。

この浄化堤に用いた礫の性状を表1に示す。

表1 礫の性状

分類	花崗岩
密度	2.6 g/cm <sup>3</sup>
吸水率	0.5 ~ 1.4 %
大きさ	径6 ~ 7 cm

この礫を網目状の籠に入れて音戸町の水産試験場の棧橋から海中に浸漬し、微生物が付着するまで待機した。約3週間後に礫を引き上げ、これで浄化堤を構築し海水を投入して準備が完了した。なお使用した礫は14リットルの籠に約80個入ることから、本浄化堤(70リットル)での使用量は約400個と推測される。

### 2.3 海水の浄化試験

構築した浄化装置で300リットルの海水を循環させ海水の浄化試験を実施した。この閉じた系で海水の出し入れを連続的に繰り返すのように浄化が行われるか、COD(測定:アルカリ性過マンガン酸カリウムによる方法)等の測定を実施し経時変化を観察した。

### 2.4 模擬汚濁海水の浄化試験

海水の浄化試験に引き続き、模擬汚濁海水の浄化試験を実施し経時変化を観察した。これは汚濁した海水が流入してくることを想定した試験で、模擬汚濁水を投入して海水のCOD値を7mgO/l、4mgO/l等に調整して実施した。なお浄化堤の礫は2.3の試験で使用した状態のままであるが、海水は新しいものに交換した。また模擬汚濁水は次の方法で生成した。30gのポリペプトンを500mlの水に溶かした液と、30gのグルコースを500mlの水に溶かした液の2種類を作り、使用時にこの等量を混合して模擬汚濁水とした。この模擬汚濁水のCOD値は20,000 mgO/lであった。

汚濁海水の浄化試験により、浄化堤の浄化率、CODとTOC(全有機炭素量)との関連、また礫に付着した微生物の捕集からATP(アデノシン三リン酸)の推移等について検討した。水質チェッカーによるpH、DO(溶存酸素)、TEMP(水温)、SAL(塩分)の測定、Cl(塩素濃度)の分析により水質管理を行った。

## 3 実験結果と考察

### 3.1 海水の浄化試験

海水の浄化試験の結果を図2に示す。

装置に投入した海水のCOD値は0.5mgO/lである。連続してこれの浄化を繰り返したところ、最初の22日間COD値は上昇を続けピーク値が1.95mgO/lとな

った。これは、海中から引き上げた礫をそのまま浄化堤に構築したので、礫に付着していた微生物等が死滅したと思われる。その後海水が浄化され42日目

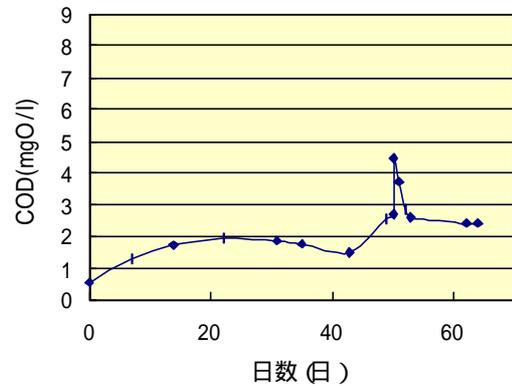


図2 浄化堤内のCODの推移(初期)

COD値が1.5mgO/lまで低下した。しかしその後上昇を始めたが、これは栄養不足等で多くの微生物が死滅したものである。そこで模擬汚濁水を投与したところCOD値は一時4.5mgO/lに急上昇したが、1~2日後には2.5mgO/l前後に安定した。これは微生物の死滅に歯止めがかかったものと推測される。

### 3.2 模擬汚濁海水の浄化試験

3.1の試験で海水のCOD値がかなり上昇したので、ここで海水の交換を行った。交換直後の海水のCOD値は約1.2mgO/lである。これに模擬汚濁水を投入して、連続的に浄化試験を実施した結果を図3に示す。

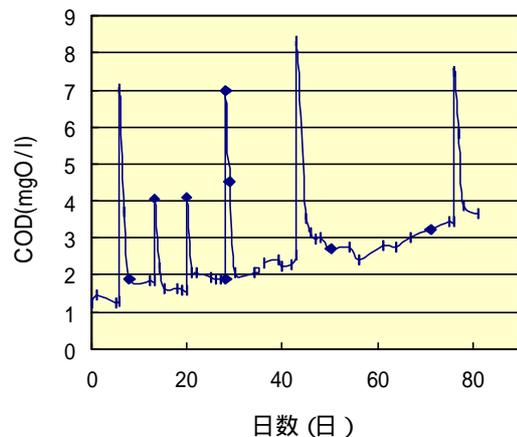


図3 浄化堤内のCODの推移

図は、浄化堤内のCOD値の測定を約80日間継続し

で行ったものである。途中6回ほど COD 値が急激に上昇している所が、模擬汚濁水を投入した所である。海水交換後6日間の浄化では COD 値の低下は見られなかった。

これに1回目の模擬汚濁水を加え海水の COD 値をおよそ 7.0mgO/l とした。この汚濁海水は2日(1日12回の干満)後には 1.9mgO/l に低下し、その後5日間はほぼ一定の値を示した。

これに2回目の模擬汚濁水を加え海水の COD 値をおよそ 4.1mgO/l とした。これは1日で 2.2mgO/l、その後さらに 1.6mgO/l まで下がり4日間ほぼ一定の値を示した。

さらに3回目の模擬汚濁水を加えて海水濃度を 4.1mgO/l にした。1日後には 2.1mgO/l、4日後には 1.9mgO/l まで低下した。

これ以降汚濁海水の COD 値は、4回目は 7.0mgO/l、5回目は 8.3mgO/l、6回目は 7.5mgO/l とした。

汚濁海水の COD 値は1~2日で低下するが、投入以前の値よりはやや高くなっている。汚濁海水の投入前より、COD 値が低いのは2回目の投入時だけである。つまり、この閉じた系では COD 値は徐々に上昇し、浄化堤に付着している微生物では分解できない有機物が蓄積してくるものと思われる。なお試験期間の80日間での COD 値の上昇は 2.4mgO/l (3.6mgO/l - 1.2mgO/l)であった。実海域では、海水は常に入れ替わるためこのような現象は生じないものと思われる。

ところで、浄化堤は模擬汚濁海水を短期間のうちにほぼ汚濁前の状態にまで低下させる能力を有している。またこのように繰り返し発生する突発的な汚濁に対しても、浄化効果が低減することなく持続することから、生物膜ろ過による浄化法は海域の浄化に適しているといえる。

### 3.3 浄化堤の浄化率

3.2 の模擬汚濁海水の浄化試験において、浄化の過程を細かく観察するために、2回目の汚濁水投与後の海水に対して1回の干満毎に COD 値を測定した。この時の COD の変化を図4に示す。

図の横軸は浄化回数で、1回の浄化回数は1回の干満に対応する。模擬汚濁水投入後 COD 値は 4.0mgO/l となり、1回目の浄化で 3.75mgO/l、2回目の浄化で 3.68mgO/l に減少した。12回の浄化後の COD 値は 2.2mgO/l となり、直線的に減少する傾向を示した。1回の干満当たりの COD 値の低下量を浄化率とすると、この浄化堤での浄化率は  $(4.0 - 2.2) \text{ (mgO/l)} / 12 \text{ 回}$  を計算して、COD 値で 0.15(mgO/l) / 回となる。

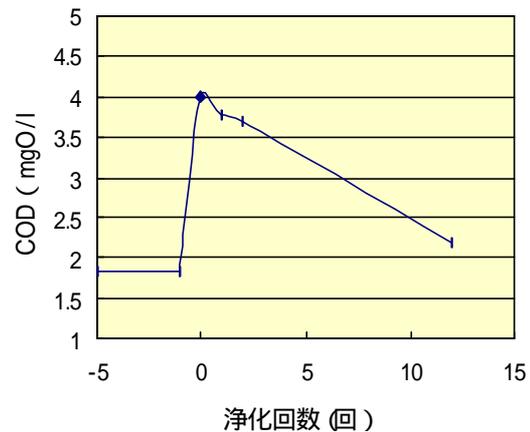


図4 CODの変化

同様に模擬汚濁海水を生成し、浄化堤の浄化率を求めたものをまとめて表2に示す。

表2 浄化堤の浄化率

初期値 mgO/l	浄化後 mgO/l	浄化回数 回	浄化率 (mgO/l) / 回
7.04	1.87	26	0.20
4.13	2.06	12	0.17
7.00	4.54	11	0.22
8.30	3.40	24	0.20
7.51	3.86	25	0.15

この表から、この浄化堤における浄化率は COD 値で 0.15~0.22(mgO/l) / 回の範囲となった。

### 3.4 TOC との関連

TOC (全有機炭素量) は水中の有機物に含まれる炭素量を表すもので、近年測定器の発達により測定の精度が向上し汎用性が拡大しつつある。そこで海水中の

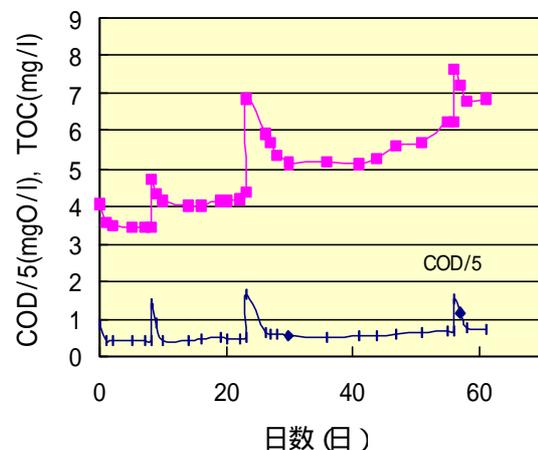


図5 浄化堤内の TOC の推移と COD の対比

有機物量を TOC で測定し、COD と対比してデータの有効性を確認した。その結果を図 5 に示す。

図において、高濃度の汚濁物質を投与した時、COD は大きく上昇するが、TOC の上昇幅は小さくピーク値が低く表れる傾向がある。しかし汚濁の検出感度および COD の上昇傾向等において両者の変動には相関性がみられる。なお COD はグラフを見やすくするため 1 / 5 の縮尺で表示している。

### 3.5 ATP の推移

ATP は細胞内のエネルギー代謝に関与する物質で、生きている生物には必ず存在するものである。従ってこれを測定すればバイオマス量（生物量）の把握が可能である。参考までに煮沸した礫、海辺の石、海水に 10 日間浸漬した礫の ATP を測定したところ、煮沸した礫では生物が死滅して ATP はほぼゼロとなったが、海水に 10 日間浸漬した礫では 5,000pmol/l と高い値を示した。この測定値を表 3 に示す。

表 3 礫の ATP 測定値

試料	ATP 量 (pmol / sample)
礫（煮沸したもの）	約 3
海辺の石：密度 2.72 g/cm <sup>3</sup> 吸水率 0.50 %	約 82
礫（海水に 10 日間浸漬）	約 5,000

次に浄化試験を継続して行い、浄化堤の礫に付着した ATP の推移をプロットしたものを図 6 に示す。

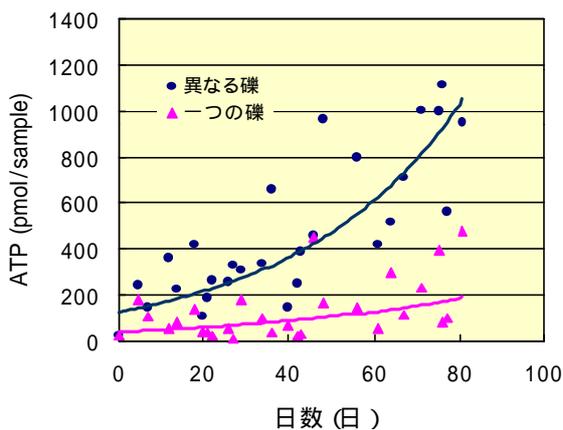


図 6 礫に付着した ATP の推移

図において、印はある一つの礫を決めておいてその測定を繰り返したものの、印はその都度異なる礫を取りだして測定したものである。異なる礫では微生

物の付着量が時間の経過と共に累積されてくるので、ATP 量が多くなることは当然予想された結果である。またデータのバラツキが大きいのは、礫に付着する微生物量は礫の置かれた場所により異なること、礫に均質に付着することはあり得ない等から、むしろ当然のことと思われる。いずれにしても時間の経過と共に ATP 量は増加しており、付着微生物が増加した結果である。そのため微生物の死滅も増加し、これが新たな水質汚濁を引き起こしているものと思われる。

### 3.6 水質の測定結果

水質チェッカーによる測定結果を表 4 に示す。

表 4 水質測定値

pH	8.10 ~ 8.18
DO	4.13 ~ 4.85 mg/l
TEMP	12.1 ~ 16.0
SAL	3.52 ~ 3.60 %

なお、Cl は初期海水で 19,130mgCl/l、300 リットルの海水での全 Cl は 5,739,000mgCl である。これを 1 週間から 10 日の間隔で分析し、不足量を補充して塩分濃度を一定に維持した。

## 4 結 言

- (1) 汚染度の高い模擬汚濁海水が十数回の干満で浄化されることから、突発的な海水の汚濁に対して微生物は有効に作用し生態系による水質浄化が効果的であることが判明した。
- (2) 模擬汚濁海水の連続的な投入に対しても、微生物による浄化が継続してなされることから、実海域においても環境浄化堤が適用できる可能性が見いだせた。
- (3) 本試験で使用した浄化堤での浄化率は COD 値で 0.15 ~ 0.22(mgO/l) / 回であった。
- (4) TOC は COD に比べて汚濁のピーク値が低く表れるが、相関性が見られる。
- (5) ATP 量が時間の経過と共に増加することから、付着微生物の増加が推測できる。

## 謝 辞

この試験の実施にあたり、いろいろと御指導・御協力頂いた産業技術総合研究所中国センター海洋資源環境研究部門主任研究員の滝村修氏と、広島県水産試験場生産部長の馬久地隆幸氏の両氏に深く感謝の意を表します。