

カキ殻を利用した水環境改善技術の開発 ーカキ殻覆砂工法およびカキ殻フィルター工法ー

袋 昭 太 島 多 義 彦

概 要

閉鎖性海域では水質汚濁および底質の悪化が問題となっており、特に水底で発生する硫化物イオンが原因となる貧酸素水塊の発生とその湧昇現象(青潮)による魚介類の減少や、窒素やリンが原因となる富栄養化によるアオコや赤潮の発生などが挙げられる。

一方、水産業ではホタテ、カキ、アコヤガイなどの貝類の養殖に伴い貝殻が廃棄物として発生しており、一部が肥料や飼料として利用されているにすぎなく、その有効利用が課題といえる。

この報文では、カキ殻の浄化資材としての特性に着目し、前処理したカキ殻粉碎物で底質を被覆することによる底質改善効果とカキ殻を生物の付着担体として水中に設置することによる水質浄化効果について浜名湖で実証調査を行い、得られた知見について示す。

Development of Technology which Improves Water Quality by Using Oyster Shell --- Oyster Shell Capping Sand Method and Oyster Shell Filter Method ---

Abstract

Water pollution and the deterioration of the seabed quality are problems in enclosed sea areas (such as estuaries and lagoons). In particular, where the sulfide ion is generated in bottom water, oxygen deficiency can result death of fauna and phenomena such as blue tides. In addition, nitrogen and phosphorus can lead to eutrophication and algal blooms.

Shell is a waste product of the shellfishing industry (scallop, oysters, and pearl oyster). Although some of this material is used as a fertilizer and feed additives, much is surplus to requirements.

In this report, we examine bottom water quality improvement achieved by covering areas of seabed with crushed oyster shell. We also examine the additional purification effects due to the shell's suitability as a substrate for the sessile organisms. Experiments are carried out in Matsumi bay, Lake Hamana, and enough potential to apply these methods to other enclosed sea areas is verified.

キーワード: 水質浄化, 底質改善, カキ殻, 覆砂, 付着担体, ベントス, 硫化物

§1. はじめに

カキ殻には硫化物を吸着する能力があることが知られており¹⁾、底質改善材としての試みも各地で行われてきたが、その効果の有無については両方の報告がある。その理由の一つとしてカキ殻に付着している有機物の分解に起因する栄養塩類の溶出や硫化物の発生が挙げられている²⁾。そこで当社では付着している有機物や窒素、リンを前処理により除去、溶出を低減、さらに硫化物の吸着能力を高めたカキ殻粉砕物(カキ殻サンド)で底泥を被覆し、底質を改善する「カキ殻覆砂工法」を開発した。

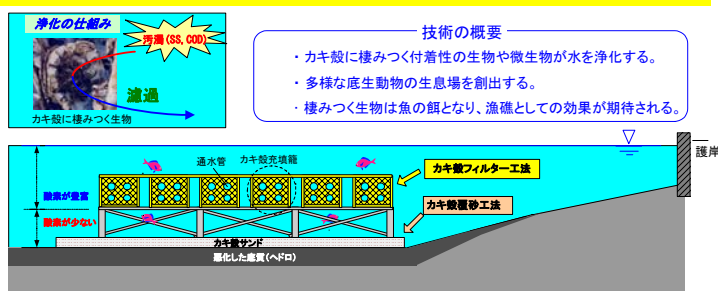
二枚貝等のマクロベントスには水質浄化作用があることが知られている^{3) 4)}が、底質の悪化したような水域では硫化物含有量が高く、貧酸素化しているために生息が困難である。カキ殻の大きな表面積と空隙率の特性に着目し、溶存酸素の豊富な水深にカキ殻を付着担体として設置することでマクロベントス等の生物の生息場を新たに創出し、着生する二枚貝やフジツボなどのマクロベントスにより水質を浄化する「カキ殻フィルター工法」を開発した。

「カキ殻覆砂工法」と「カキ殻フィルター工法」の技術概要を図 1 に示す。

開発したこれらの底質改善技術と水質浄化技術の効果を検証するために、浜名湖松見ヶ浦で 2003 年 7 月より実証実験を行っている。

本報文では、これら開発した技術について紹介するとともに、浜名湖での 1 年間の追跡調査によって得られた知見について示した。なお、本実証実験は、静岡県主催の浜名湖浄化技術発掘事業の提案事業者募集に応募し、採択されたものである。

【カキ殻フィルター工法】:カキ殻担体に棲みつく生物による水質の浄化



【カキ殻覆砂工法】:カキ殻粉砕物(カキ殻サンド)による底質の改善

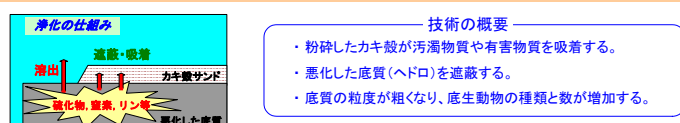


図 1 技術の概要

§2. 実験概要

2.1 実施場所

浜名湖の中でも閉鎖性が強く底質の有機物含有量や硫化物含有量が多い松見ヶ浦で実験を行った。また、実験を行った浜名湖は汽水というよりも海水に近い高い実用塩分を示すことも特徴の一つとして挙げられる。実施場所の概要を以下に示す。

□実施場所

浜名湖松見ヶ浦、湖西市利木沖約 80m
水深 3.5～4.0 m

□底質の性状(2003.05.22)

COD_{sed} : 52.9mg/g-dry
強熱減量 : 17.3%
ORP : -367mV

□水質の性状(2003.05.22～2004.01.27 の 5 回調査)

実用塩分 : 16.8～28.5
TN : 0.14～2.34mgN/l
TP : 0.004～0.059mgP/l

2.2 実験施設の概要

実験施設の配置図、実験区Aの立面図および実験施設の概要をそれぞれ図 2、図 3、表 1 に示す。また、施設の写真を図 4、図 5 に示す。実験施設は 2003 年 7 月 18 日に設置し、その後実証調査を行った。

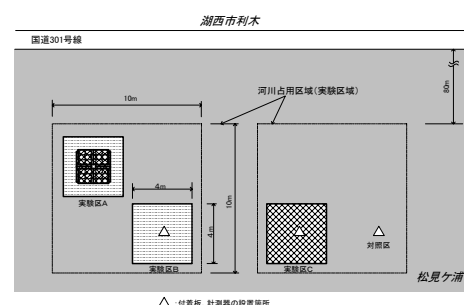


図 2 実験施設の配置図(平面図)

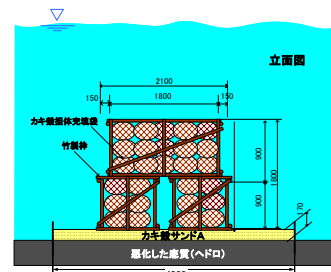


図 3 実験区 A の立面図

表 1 実験施設の概要

	カキ殻フィルター工法	カキ殻覆砂工法
実験区A	縦2.1m×横2.1m、高さ1.8m	カキ殻サンドA: 4m×4m 被覆厚17cm
実験区B	-	カキ殻サンドA: 4m×4m 被覆厚17cm
実験区C	-	カキ殻サンドB: 4m×4m 被覆厚17cm
対照区	-	-



カキ殻サンドA カキ殻サンドB

図4 カキ殻覆砂工法



カキ殻充填籠 カキ殻担体

図5 カキ殻フィルター工法

2.3 実験施設の材料

カキ殻覆砂工法に使用した材料およびカキ殻フィルター工法に使用した材料の物性等について以下に示す。

2.3.1 カキ殻覆砂工法

(1) カキ殻サンドの粒度,密度

カキ殻覆砂工法はカキ殻の付着有機物を除去する処理過程が異なる2種類のカキ殻粉砕物(カキ殻サンドA:加熱処理,カキ殻サンドB:水洗処理)で実験を行った。

カキ殻サンドA,Bおよび対照区底泥の粒度,密度を表2に示す。

カキ殻サンドA,Bともに細砂～中礫に対応する粒径が90%以上と広い粒度分布であり,敷設による底質の透水性の改善や粒子密度も小さいため圧密沈下が少ないと考えられる。

表2 カキ殻サンドの粒度,密度

	カキ殻サンドA	カキ殻サンドB	対照区底泥	試験方法
粗 礫 分 19.0-75.0 (mm)	1.9	1.0	0.0	JIS A 1204 に準ずる
中 礫 分 4.75-19.0 (mm)	50.0	42.2	0.0	
細 礫 分 2.00-4.75 (mm)	18.8	21.1	0.0	
粗 砂 分 0.850-2.00 (mm)	11.3	16.5	0.2	
中 砂 分 0.250-0.850 (mm)	7.5	10.9	1.3	
細 砂 分 0.075-0.250 (mm)	3.8	3.9	5.6	
シルト 分 0.005-0.075 (mm)	6.8	4.3	71.0	
粘土 分 0.005 (mm) 以下			22.0	
最大粒径	19.00	19.00	0.85	
50% 粒径	5.00	3.60	0.02	
粒子密度	2.1	1.9	2.6	JIS A 1202 に準ずる
単位容積重量	0.90	0.80	未測定	JIS A 1104 に準ずる

(2) カキ殻サンドの有機物,窒素,リン含有量

カキ殻サンド A,B および無処理のカキ殻粉砕物の有機炭素,全窒素,全リンの含有量および溶出試験の結果を表3に示す。炭素,窒素含有量は燃焼法により,リン含有量は硝酸-過塩素酸分解法により測定した。溶出試験は,底質の調査・試験マニュアルに基づき試験液を調整し,分析はJIS K0102 に準じた。

カキ殻サンド A はリンの含有量を除き,94%以上を除去,低減し効果的な前処理方法であったのに対し,カキ殻サンド B は含有量,溶出量ともに除去,低減率が低かった。リ

ンの含有量についてはカキ殻の成分由来と考えられた。

	表 含有量 (mg/g-dry)			リン 溶出量 (mg/g-dry)		
	有機炭素	全窒素	全リン	有機炭素	全窒素	全リン
未処理のカキ殻	7.69	2.47	0.71	1.75	0.25	0.018
カキ殻サンドA	0.40	0.05	0.82	0.06	0.00	0.001
カキ殻サンドB	3.54	1.05	0.44	0.66	0.13	0.003

(3) 硫化物イオン吸着能

カキ殻サンドA,Bおよび対照として海砂の硫化物イオン吸着試験を行った結果を図6に示す。

カキ殻サンドは海砂より硫化物イオン吸着量が多く,カキ殻サンド A は砂の 10.5 倍,カキ殻サンド B の 3.1 倍と吸着量が多い結果であった。

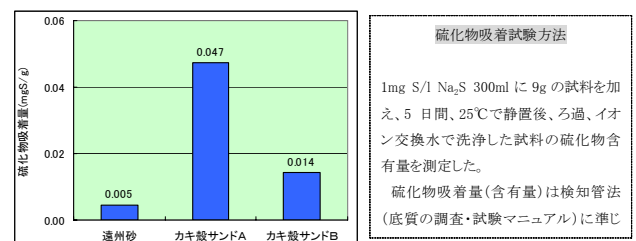


図6 カキ殻サンドA,B

2.3.2 カキ殻フィルター工法

カキ殻フィルター工法に使用したカキ殻担体の空隙率,表面積等を表4に示す。

カキ殻担体の空隙率と表面積は大きく,本実験に使用した高さ90cmのカキ殻充填籠では1m²あたり140m²の付着性生物の生息場が創出されると予想される。

表4 カキ殻担体

項目	測定値
真比重	g/cm ³ 1.74
見かけ比重	g/cm ³ 0.26
空隙率	% 84.97
表面積	m ² /m ³ 156.0

2.4 評価・調査方法

浄化効果の評価方法を以下に示す。

2.4.1 カキ殻覆砂工法

(1) 湖底直上水の水質改善効果

湖底直上水の水質調査(溶存酸素,硫化物イオン等)と湖底直上に設置した付着板への生物付着量から湖底直上の生物生息環境の改善効果を評価した。

(2) 汚濁原因物質の発生(溶出)抑制効果

現場溶出試験から単位面積あたりの汚濁原因物質の溶出(発生)抑制効果を算出した。

(3) 底質の改善効果

底生動物の個体数,湿重量および底質の性状(硫化物含有量,強熱減量等)から改善効果を評価した。

(4) 材料の耐久性

カキ殻サンドの重量変化を測定し、カキ殻サンドの溶解速度を算出した。

2.4.2 カキ殻フィルター工法

(1) 水質浄化効果

現場カラム通水試験と優占種の濾水速度およびカキ殻フィルターのマクロベントスの種類、湿重量の調査結果よりカキ殻単位量あたりの濾水速度(水処理速度)を算出し、クロロフィル除去速度を見積もった。

(2) 生物の生息場の創出

定期的にカキ殻担体に棲みつくマクロベントスの種、個体数、湿重量を調査し、評価した。

§3. 実験結果

2003 年 7 月～2004 年 8 月までの約 1 年間の実証調査と室内試験で得られた知見を報告する。

3.1 カキ殻覆砂工法

3.1.1 湖底直上水の調査結果

現場の湖底直上(湖底から 30cm の水深)について調査した結果を示す。

(1) 溶存酸素

2003 年 8 月 26 日と 10 月 1 日に調査した溶存酸素濃度を図 7 に示す。

二回の調査結果ともに湖底直上水の溶存酸素濃度は、対照区よりも実験区で高い値であった。

(2) 硫化物イオン

2003 年 8 月 26 日から 29 日に調査した硫化物イオン濃度を図 8 に示す。

硫化物イオン濃度は、実験区で対照区の 10%程度と低い値であった。

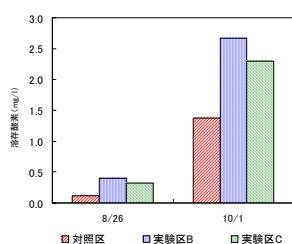


図 7 溶存酸素濃度

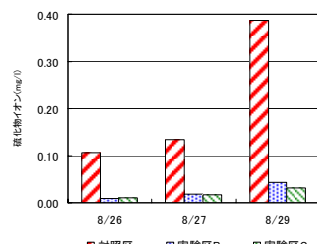


図 8 硫化物イオン濃度

(3) 付着板生物試験

2003 年 7 月 18 日に透明なアクリル製の板(180×320mm)を湖底直上に設置し、10 月 1 日に回収した。板への生物の付着状況の写真を図 9 に示す。

付着板に付着する生物は、対照区ではほとんどみられないのに対し、実験区ではフジツボや付着藻類が付着しているのを確認した。



対照区

実験区B

実験区C

図 9 湖底直上に設置した付着板への生物付着状況

これら直上水の結果から、カキ殻覆砂工法により硫化物イオンの発生が抑制され、夏季に特徴的な湖底付近の貧酸素状態が緩和し、湖底直上の生物の生息環境が改善していると考えられた。

3.1.2 汚濁原因物質の現場溶出試験の結果

2003 年 9 月 28 日～30 日および平成 2004 年 7 月 23 日～26 日の期間中、ステンレス製のチャンバー(400×400×300)を湖底に設置後、チャンバー内の水を交換し実験を開始した。実験開始時と 48 時間後のチャンバー内の窒素、リン、硫化物量の増減から湖底からの溶出(発生)速度を求めた。2003 年と 2004 年の結果を表 5、表 6 に示す。

2003 年の調査では、実験区BとCでは硫化物の発生を抑制し、窒素、リンの溶出を軽減する結果であった。実験区BとCとの間には大きな差はみられなかった。

2004 年の調査では、実験区Bでは硫化物と窒素について溶出(発生)の抑制する結果であったが、実験区Cでは対照区よりも溶出(発生)が大きくなる傾向となった。

実験区Bで使ったカキ殻サンドAは製造過程で有機物をほぼ除去していたのに対し、実験区Cで使ったカキ殻サンドBは有機物がある程度残存していたことが関係していると考えられた。

表 5 2003 年溶出試験の溶出速度と溶出抑制率

項目	溶出(発生)速度(mg/m ² /h)			溶出(発生)抑制率(%)	
	対照区	実験区B	実験区C	実験区B	実験区C
硫化物	9.97	-0.043	0.65	100	93
全窒素	3.35	1.66	1.10	50	67
全リン	0.19	0.060	0.038	68	80

表 6 2004 年溶出試験の溶出速度と溶出抑制率

項目	溶出(発生)速度(mg/m ² /h)			溶出(発生)抑制率(%)	
	対照区	実験区B	実験区C	実験区B	実験区C
硫化物	9.82	4.70	14.45	52	-47
全窒素	3.63	2.40	4.01	34	-10
全リン	0.66	0.81	0.78	-23	-18

3.1.3 底質調査の結果

2004 年 7 月 23 日に設置 1 年後の現場の底質およびマクロベントスの調査を行った。底質の分析結果を表 7 に、マクロベントスの調査結果を表 8 に示す。

(1) 底質

リン含有量を除いて、実験区では対照区よりも低く、特に強熱減量と硫化物含有量が少なかった。また、リン含有量を除いて、実験区Bでは実験区Cよりも低い値であった。

底質の有機物含有量や硫化物含有量が低い値を示して

おり、設置 1 年後においても有機物含量や硫化物含量などの高い底質を清浄なカキ殻で被覆していることを確認した。リン含有量は溶出試験で記載したのと同様に、カキ殻中に含まれるリンに起因するものと考えられた。

表 7 1 年後の底質

項目		対照区	実験区B	実験区C
強熱減量 _{500℃}	%	14.9	1.1	2.3
全窒素含有量	mg/g-dry	4.10	0.60	1.10
全リン含有量	mg/g-dry	0.41	0.55	0.47
硫化物含有量	mg/g-dry	0.93	0.02	0.10

(2) マクロベントス

種類数、個体数、湿重量ともに実験区は対照区よりも大きな値となった。実験区BとCでは実験区Bでマクロベントスが多かった。

カキ殻覆砂工法により設置 1 年後の底質のマクロベントスが増加する結果を得た。

表 8 1 年後のマクロベントス

單位：個体数/m ² ， g-wet/m ²									
分類(網)	対照区			実験区B			実験区C		
	種類数	個体数	湿重量	種類数	個体数	湿重量	種類数	個体数	湿重量
花虫				1	44	0.00	1	44	2.21
腹足				2	44	2.21	1	44	0.15
二枚貝				1	29	0.00	1	29	0.00
多毛	4	235	0.00	10	5074	3.24	10	4441	2.50
軟甲	3	44	0.00	2	59	0.00	2	59	0.00
昆虫				1	15	0.00			
合計	7	279	0.00	17	5265	5.44	15	4618	4.85

3.1.3 材料の耐久性(溶解速度)の調査結果

2003 年 9 月 1 日～2004 年 3 月 1 日の期間中、透水構造のプラスチックボトルにカキ殻サンドを満し、実験区の湖底に沈める試験を行った。試験前後の重量変化からカキ殻の溶解速度を調査した。

その結果、1 年間の溶解速度は、カキ殻サンドAは 3.4%、カキ殻サンドBは 1.7%、と短期間には溶解しないことがわかった。

3.2 カキ殻フィルター工法

3.2.1 水質浄化速度試験の結果

2003 年 8 月 23 日に、カキ殻担体充填籠上段から生物の着生したカキ殻を採取し、以下に示す方法でカキ殻フィルター工法の浄化速度を算出した。

(1) 試験方法

a) 現場カラム通水試験による濾水速度の測定(図 9)

内径 104mm、高さ 680mmの透明塩ビ性カラムに現地で採取した生物が付着しているカキ殻を充填し、カラム下部から現地で採取した湖水を流し、上部から流出させ、通水前後のクロロフィルa濃度の変化より濾水速度(F)を算出した。

b) カラム通水試験に用いたカキ殻に付着するマクロベントスの調査(優占種の確認)

上記のカラム通水試験で使用したカキ殻に付着しているマクロベントスの種、個体数、湿重量(w_i)を測定した。

c) 優占種の濾水速度の測定(図 10)

現地でカキ殻に付着しているマクロベントスの優占種(懸濁物捕食者)を採取し、実験室に持ち帰り、異なる温度条件(10℃、20℃、30℃)で優占種ごとの濾水速度(f_i)を測定した。

d) 優占種の濾水速度と現場のベントス湿重量から現場の濾水速度を算出できることを確認

上記a)～c)の試験結果より、以下の式が成立することを確認した。

$$\sum_{i=1}^n (f_i \times w_i) \div F_c \quad (1)$$

F_c : 現場カラム通水試験の濾水速度
 f_i : 優占種の濾水速度
 w_i : 湿重量
 i : 優占種
 n : 優占種の数 ($n = 1, 2, 3, \dots, n$)

e) カキ殻担体のマクロベントスの調査(優占種の確認)

定期的にカキ殻充填籠上段および下段からカキ殻充填袋を採取し、着生しているマクロベントの種、個体数、湿重量(W)を調査した。

f) カキ殻フィルター工法による濾水速度を算出

優占種の濾水速度(f_i)とマクロベントスの湿重量(W)より、調査時の濾水速度 F を以下の式で計算した。

$$\sum_{i=1}^n (f_i \times W_i) = F \quad (2)$$

F : カキ殻単位量あたりの濾水速度
 f_i : 優占種の濾水速度
 W : マクロベントスの湿重量

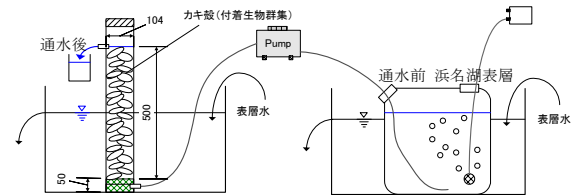


図 9 現場カラム通水試験の方法

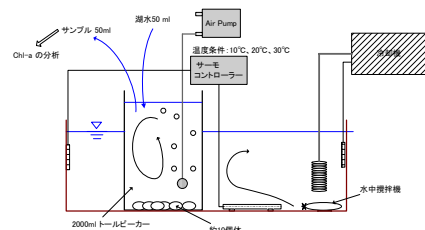


図 10 優占種の濾水速度試験の方法

(2) 試験結果

水質浄化速度試験の結果を表 9 に示す。

優占種の濾水速度と現場のマクロベントスの湿重量から現場の濾水速度を算出できることを確認した。

潮汐等やカキ殻充填構造によりカキ殻充填籠内部の生物に湖水が十分に供給される条件では、カキ殻フィルター工法の 8 月における濾水速度は $31.6 \text{ m}^3 \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{day}^{-1}$ となり、これは $904 \text{ mgChl-a} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{day}^{-1}$ に相当する植物プランクトンをろ過処理していることになる。

表 9 水質浄化速度試験の結果

種	係数種の濾水速度(l)×生物量(w)×視察のカキ殻付着生物群集の濾水速度(F) の推定				2005年8月のカキ殻フィルター工法の濾水速度	
	カラム濾水装置の マクロベントス濾水量 (w_f)	係数種の濾水速度 (F_f) : $W_f \cdot 20^\circ C$	種別の濾水速度 (F_f) : W_f	カラム濾水装置 の濾水速度 (F_f)	カキ殻付着層(上段) マクロベントス濾水量 (W_f)	種別の濾水速度 (F_f) : W_f
	$g \cdot wet \cdot m^{-3}$	$ml \cdot g \cdot wet^{-1} \cdot h^{-1}$	$m^3 \cdot m^{-3} \cdot day^{-1}$	$m^3 \cdot m^{-3} \cdot day^{-1}$	$g \cdot wet \cdot m^{-3}$	$m^3 \cdot m^{-3} \cdot day^{-1}$
7月	0.0	92	0	—	0	0.0
ホトギスガイ	1.5	216	5	—	91	0.5
カサガイ	2.8	84	3	—	261	0.5
フシガイ	2.2	79	3	—	627	1.2
カサガイ	0.0	106	0	—	4	0.0
二枚貝類	11.8	115	20	—	305	0.8
マダラツブ	33.1	276	132	—	2903	19.3
種別不明	0.0	276	0	—	17	0.1
シロギ	0.0	108	0	—	0	0.0
マンハッタン	3.0	175	8	—	52	0.2
サメ	0.0	141	0	—	2646	9.0
多毛類	3.2	—	—	—	1693	—
その他	1.1	—	—	—	322	—
合計	59	—	170	139~211	8921	31.6

3.2.2 カキ殻に生息するマクロベントスの調査

カキ殻担体充填籠の上段と下段の籠からカキ殻充填袋を定期的に採取し、棲みついたマクロベントスの種類数、個体数および湿重量を調査した結果を図 11 に示す。

充填籠上段では、ホトギスガイなど二枚貝、フジツボなど顎脚類、ゴカイなど多毛類をはじめとする豊富で多様なマクロベントスがカキ殻担体に棲みついていることを確認した。

充填籠下段ではマクロベントスの個体数、湿重量ともに少なく、湖底付近の低い溶存酸素濃度や有害な硫化物イオンの発生等が原因と考えられた。

2003 年 8 月の二枚貝の大きな値は、ホトギスガイの大量発生によるものであり、個体数で二枚貝の 97%、湿重量で 94%を示した。ホトギスガイを除くと、2003 年と 2004 年の 8 月の値は同程度であった。

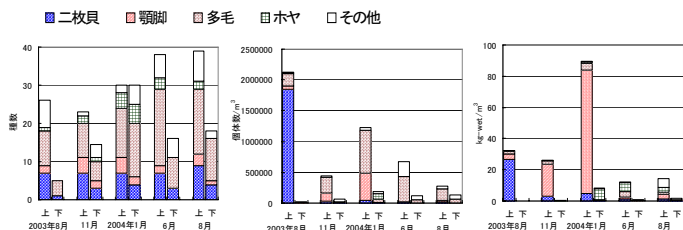


図 11 カキ殻充填籠のマクロベントス

§4. まとめ

本技術の実証実験で得られた効果を以下に示す。

4.1 カキ殻覆砂工法

(1) 湖底直上水の水質改善効果

夏期の硫化物の発生を抑制、溶存酸素濃度を増加し、湖底直上の生物の生息環境を改善する。

(2) 汚濁原因物質の発生(溶出)抑制効果

湖底からの硫化物イオンの発生抑制効果は非常に大きく、窒素、リンについてはカキ殻サンドA(加熱処理)で溶出を軽減する。

(3) 底質の改善効果

底質の硫化物、窒素含有量は減少し、マクロベントスの種、個体数、湿重量が増加する。

(4) 材料の耐久性

カキ殻の溶解速度は小さく、短期間には減耗しない。

以上のことから、カキ殻覆砂工法は貧酸素水塊の形成を抑制し、湖底および湖底直上の生物の生息環境を改善できると考えられる。

4.2 カキ殻フィルター工法

(1) 水質浄化効果

水質浄化速度試験から 2003 年 8 月のカキ殻フィルター単位容積あたりの濾水速度は $31.6 \text{ m}^3 \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{day}^{-1}$ となり、水中の濁りである植物プランクトンを効果的に除去する。

(2) 生物の生息場の創出効果

溶存酸素の豊富な水深に設置したカキ殻には豊富で多様なマクロベントスが着生し、生物の生息場が創出される。

また、スズキ、クロダイなどの魚類がカキ殻フィルター付近で多く確認されており、漁礁としての効果が期待される。

以上のことから、カキ殻フィルター工法は豊富で多様なマクロベントスが着生し、これら着生する生物により効果的に水質を浄化できると考えられる。

謝 辞

実証実験の調査、評価にあたり浜名湖浄化技術研究会の会員の皆様より貴重なご意見、ご指導をいただきました。また、実験の実施にあたり浜名漁業協同組合、同 入出支所、舞阪町養カキ組合には諸々のご便宜をはかって頂きました。皆様に深謝いたします。

参考文献

- 坂井英世:カキ殻粉末を利用した遊離硫化水素の吸着実験,新潟県水産試験場研究報告,第5号,pp.1-5,1976.
- 藤沢邦康, 三宅与志雄:カキ殻散布による底質改良試験—II, 昭和 55 年度岡山県水試事報, pp.18-20,1981.
- 国立環境研究所:海域保全のための浅海域における物質循環と水質浄化に関する研究, 国立環境研究所特別研究報告 SR-32,pp23-29,2000.
- 木村賢史:東京湾における干潟の生物と環境との関係, ヘドロ No.77,pp38-50,1999.4) 木村賢史:人工干潟(海浜)の水質浄化機能(1),水 36(6),pp23-36,1994.

ひとこと

開発した両技術とも浜名湖で浄化効果を確認することができた。

本技術を閉鎖性水域の浄化手法として普及させ、水質汚濁と貝殻の廃棄物の問題を解決できるように今後も研究に努めていきたい。



袋 昭太