

## 覆砂による豊前海の底質改善効果

神蘭 真人・江藤 拓也・上妻 智行  
(豊前海研究所)

### Effect on Improvement of Bottom Sediment at the Buzen Sea by Covering with Sand

Masato KAMIZONO, Takuya ETOH and Tomoyuki KOUZUMA  
(Buzenkai Laboratory)

豊前海福岡県地先の泥線以深の底質は泥分率90%以上、COD値で20から30 mg/乾泥g、硫化物量で0.2から0.4 mg/乾泥gを呈し<sup>1)</sup>、有機汚濁の進行した状態である。このような海域では、夏季の高水温期における底層水の貧酸素化、さらに底層での還元化に伴う硫化水素および硫化物の増大が生態系に影響しており、底質の改善が必要である。

底質の改善方法としては浚渫工法、トレンチ工法(作濇)や覆砂工法がある。このうち、浚渫工法は浚渫した泥の処分場を確保しなければならないこと、トレンチ工法ではトレンチ内に溜まった汚泥の再浚渫を必要とすることなどの問題を含んでいる。一方、覆砂工法は工事場所の底生生物が敷砂が行われることによって死滅する恐れがあるものの、他の工法と比べると問題の少ない工法と考えられる。

豊前海では数年前から泥線周辺において覆砂による底質改善が試みられているがその効果については未解明な点が多い。そこで、1989年7月に覆砂工事が行われた行橋市蓑島地先を調査海域に選定し、栄養塩の溶出試験、底質環境および生物について行った調査結果をもとに覆砂による底質の改善効果について検討した。

本論文のご校閲をいただいた南西海区水産研究所赤潮環境部長、本城凡夫博士および福岡県水産海洋技術センター企画管理部長、切田正憲博士に謝意を表します。

### 調査方法

覆砂場所は図1に示す福岡県行橋市蓑島地先の0m線より沖合約500mの地点で、工事は'89年

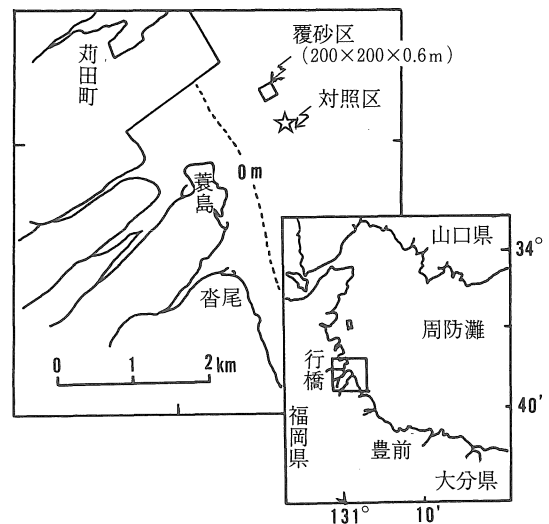


図1 調査海域  
覆砂場所を四角で、対照とした調査場所を星印で示す

7月に行われた（覆砂面積 200 × 200 m，覆砂厚 0.6 m）。工事に用いた砂は，行橋市内を流れ，菟島干潟に流入している今川および長峽川河口の濁を浚渫したものである。

覆砂場所から南へ 500 m の地点を対照区（覆砂をしない海域）として選定し，覆砂区と対照区で主に '92 から '93 年にかけて調査した。

### 1) 底質調査

柱状採泥器（KK式）を用いて採泥し，上層の 0 から 3 cm を分取し，容器に入れ密閉した後冷蔵して実験室に持ち帰り分析に供した。分析項目と分析方法は以下の通りである。

**粒度組成：**ふるい（JIS標準）を用いて，ふるい分け法により粒度組成を求めた。採泥は '89 年 10 月 6 日と '93 年 7 月 22 日に行った。

**硫化物：**検知管法。

**強熱減量：**550 °C で 6 時間強熱。

**有機炭素：**乾燥泥（110 °C で乾燥した泥）を遠心分離用沈澱管に入れ，1 N 塩酸を加えフィルムシートで蓋をして一晩放置し，翌日遠心分離を行い，上澄みを捨て再蒸留水で数回洗浄した。それを乾燥後，デシケーターに保存し，後日，住友化学社製 NC アナライザーを用いて有機炭素（TOC）の測定を行った。

硫化物，強熱減量および有機炭素の測定に用いた試料の採泥は '93 年 9 月 10 日に行った。

### 2) 現場コア法による酸素消費速度および栄養塩溶出速度試験

試験方法の概要を図 2 に示した。長さ 50 cm，内径 7 cm のポリカーボネートの円筒（コア）を使用し，覆砂区と対照区で潜水により底質の形状を乱さないように採泥した。この時採泥厚は 15 cm とした。船上でコア内の海水を泥の巻き上げがないように注意してサイホンで取り除いた。ついで採水器を用いて底層水を採水し，ゴミや大型のプランクトンを除くため 50 μm のネットでろ過し，この底層水をサイホンで泥を巻き上げないように注意してコア内に注入し，コアを黒のビニールで覆い，ビールケースに入れ，現場海域に約 24 時間沈設した。また，底層水に含まれる有機

物による酸素消費と栄養塩溶出の影響をみるため，底層水だけの試験区も設けた。すなわち，試験区は覆砂区，対照区および底層水のみをいれた 3 区とし，各試験区のコアの本数は 1 回の試験につき 3 - 5 本とした。コア内の酸素濃度は YSI 社溶存酸素計（M50）を用いて現場で測定した。栄養塩濃度は注入前の底層水および回収後のコア内の海水をポリびんに入れ，冷蔵して実験室に持ち帰り，ガラスフィルター（GFC）でろ過した後，測定した。

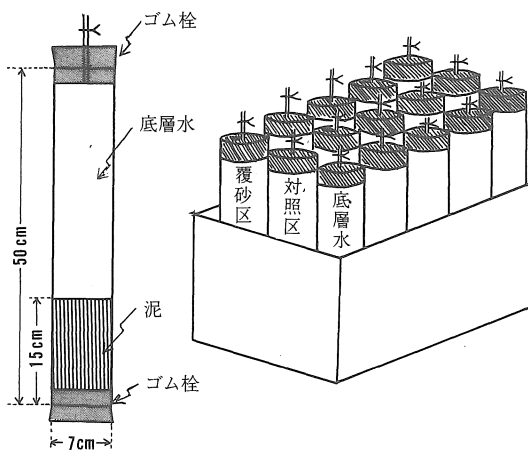


図 2 コアを使った酸素消費速度と栄養塩溶出速度の試験方法

注入前の酸素濃度および栄養塩濃度と回収後のそれらの値の差から底層水による酸素消費と栄養塩溶出量を補正し，底泥による酸素消費速度と栄養塩溶出速度を算出した。試験は '93 年 5 月から 9 月の間に延べ 5 回行った。

### 3) 生物調査

**底生動物（マクロベントス）：**小型のスミスマツキンタイヤー型採泥器（1/20 m<sup>2</sup>）を用いて，底生動物の採取を行った。覆砂区と対照区で各 3 回採泥を行い，1 mm 目のネットでふるい分けし，残存物を 10 % ホルマリンで固定して実験室に持ち帰り，底生動物の種の同定と個体数の計数を行った。調査は '93 年 5 月 21 日と 8 月 9 日に行った。

**底生大型動物：**建て網を用いて底生大型動物の採取を行った。入網した生物のうち，有用魚介類を実験室に持ち帰り，種の同定と個体数の計数を行っ

た。調査は'92年6月から10月にかけて毎月1回、延べ5回行った。

### 結果と考察

#### 1) 覆砂後の形状変化

覆砂直後の'89年10月と覆砂後4年経過した'93年7月に採泥した覆砂区の底質の粒度分布を図3に示した。両方とも二峰型の粒度組成を示し、粒径1-2mmの砂の占める割合が大きい。粒度分布から求めた中央粒径値(Mdφ)は'89年10月では0.63, '93年7月では0.78であった。

'93年11月に覆砂区において無作為に11カ所でコアを使用して覆砂厚を測定した。それによると最小12cm, 最大66cmで平均すると41cmであった。大潮時の'93年8月31日から9月1日にかけて覆砂区でアレック電子社製電磁流速計を用いて測定した底層近傍の実測流を図4に示した。最小で約1cm/s, 最大で約17cm/sの流れが観測された。

覆砂直後の覆砂厚を測定した資料がないため覆砂厚の変化については比較できないが、覆砂直後と覆砂後4年経過した底質の粒度組成に大きな違いが見られないこと、また、秋本ら<sup>2)</sup>による回流水槽を使用してMdφ 0.4から1.45の砂の掃流限界流速を測定した結果では、流砂量に急激な増加がみられる真の掃流限界流速は40cm/s以上であることから、現場海域においてはそれほど大きな流砂もなく、覆砂後の形状はほぼ維持されているものと推察される。

#### 2) 現場コア法による酸素消費速度と栄養塩溶出速度

'93年5月から9月にかけて延べ5回行った試験結果を表1に示した。

酸素消費速度は、覆砂区で69-494mg/m<sup>2</sup>/dayの範囲を示し、平均311mg/m<sup>2</sup>/day, 対照

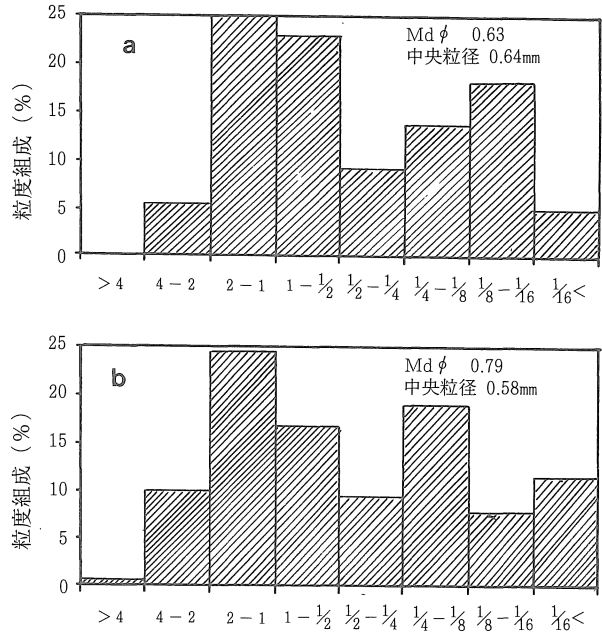


図3 覆砂直後と覆砂後4年経過した底質の粒度分布の比較

無作為に5カ所で採泥を行い、粒度分布を測定しその平均で示す。

a : 1989年10月6日採泥

b : 1993年7月22日採泥

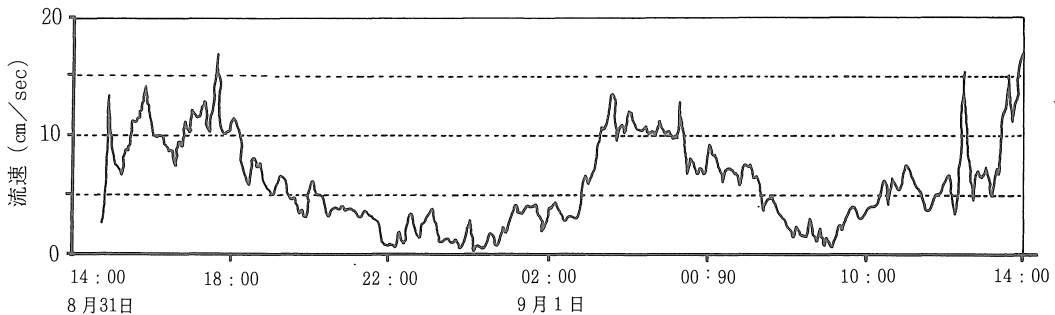


図4 覆砂区で測定した大潮時の底層近傍の流れの実測値  
1993年8月31日から9月1日にかけて10分間隔で測定

表1 コアを用いた現場での底泥による酸素(DO)消費速度と窒素(N)溶出速度の試験結果。各試験区において1回の試験につきコアを3~5本使用して測定しており、示した値はその平均である。

試験日	DO消費速度 (mg/m <sup>2</sup> /day)		N溶出速度 (mg/m <sup>2</sup> /day)		試験日の 底層水温
	覆砂区	対照区	覆砂区	対照区	
5月27-28日	147	312	12.5	19.0	20.2℃
7月 8- 9日	491	385	33.7	54.6	22.9
8月26-27日	69	117	5.7	29.1	27.1
9月 9-10日	352	234	9.4	18.7	24.0
9月20-21日	494	365	17.5	19.2	24.2
平均	311	283	15.8	28.1	

区で117 - 385 mg/m<sup>2</sup>/dayの範囲を示し、平均283 mg/m<sup>2</sup>/dayであった。5月27 - 28日と8月26 - 27日の試験では覆砂区より対照区の酸素消費速度が大きく、7月8 - 9日、9月9 - 10日および9月20 - 21日の試験では対照区より覆砂区の酸素消費速度が大きかった。

窒素溶出速度は、覆砂区で5.7 - 33.7 mg/m<sup>2</sup>/dayの範囲を示し、平均15.8 mg/m<sup>2</sup>/day、対照区で18.7 - 54.6 mg/m<sup>2</sup>/dayの範囲を示し、平均28.1 mg/m<sup>2</sup>/dayの値であった。いずれの試験日においても覆砂区より対照区の窒素溶出速度が大きく、平均値で12.3 mg/m<sup>2</sup>/dayの差がみられた。

覆砂区と対照区で測定された酸素消費速度の平均値の差を検定したところ有意差は認められなかった。しかし、窒素溶出速度の平均値の差には1%の水準で有意差が認められ、覆砂区と比べて明らかに対照区での窒素溶出量は多いと判定された。

本試験から、有機物を大量に含む底泥上に覆砂を行っても底泥からの酸素消費を抑えることはできないが、覆砂を行うことによって夏季において底泥からの窒素溶出を約12 mg/m<sup>2</sup>/day削減できることがわかった。

### 3) 底質環境

覆砂区と対照区の硫化物濃度、強熱減量およびTOC値の範囲と平均値を表2に示した。

表2 底質環境の比較(1993年9月10日採泥)

	覆砂区		対照区	
	範囲	平均	範囲	平均
硫化物 (mg/乾泥g)	0.00-0.03	0.01	0.70-0.81	0.76
強熱減量 (%)	0.65-1.12	0.85	8.10-9.19	8.87
有機炭素 (mg/乾泥g)	0.30-1.51	0.85	17.32-18.92	18.01

硫化物濃度は、覆砂区では平均で0.01 mg/乾泥gと低く、対照区では0.76 mg/乾泥gと高い値を示した。対照区での値は、水産用水基準値0.2 mg/乾泥g<sup>3)</sup>の約4倍で、底生動物の生息に影響するとされている値0.5 mg/乾泥g<sup>4)</sup>を上回っていた。

強熱減量は、覆砂区の平均で0.85%、対照区の平均で8.87%を示し、対照区での値が覆砂区での値の約10倍の値を示した。TOC値は覆砂区の平均で0.85 mg/乾泥g、対照区の平均で18.01 mg/乾泥gを示し、対照区での値が覆砂区での値の約20倍の値を示した。この結果は、対照区の底泥中に多量の有機物が存在していることを示している。

畑<sup>5)</sup>は底土堆積物中における硫化物生成におよぼす有機物濃度の影響を検討した結果、硫酸還

元菌の増殖と硫化物生産活性は有機物濃度に対応していることを明かにしている。対照区での多量の有機物が硫酸還元菌の増殖と硫化物生産活性を高め、その結果、対照区での底泥の硫化物濃度が高くなったものと考えられる。覆砂区での底質中の硫化物濃度が低かった原因として、底質が砂質の場合、シルト質や粘土質と比べて空隙率が大きく、そのため海底面を通しての海水交換が良く好気的な環境が維持されたことや、底質中の有機物が少なかったことから硫酸還元菌の増殖と硫化物生産活性が低かったこと、が考えられる。

#### 4) 底生動物（マクロベントス）

比較的良好な底質環境が維持されている5月と成層が発達して、底質環境を悪化する8月の調査結果を図5に示した。

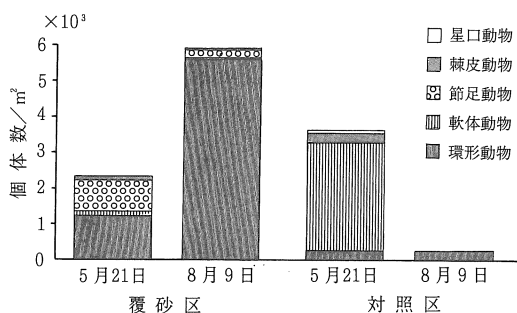


図5 底生動物生息量の比較

覆砂区では、5月の調査で約2,300個体/m<sup>2</sup>生息していたが、8月の調査では多毛類が増加し、約5,900個体/m<sup>2</sup>と5月の生息量と比較して約2.5倍に増加していた。アサリが、5月の調査で130個体/m<sup>2</sup>、8月の調査で40個体/m<sup>2</sup>生息していた。対照区では、5月の調査で約3,600個体/m<sup>2</sup>生息しており、その約80%は汚染指標種であるシズクガイによって占められていた。8月の調査では5月に優占していたシズクガイの生息がみられず、約290個体/m<sup>2</sup>と著しく減少していた。

5月から9月の各調査時に周辺の底層水酸素濃度は6.2-7.5 mg/lの範囲で変動しており、底層水の貧酸素化は認められなかった。玉井<sup>6)</sup>はシズクガイの貧酸素耐性に関する実験を行い、酸素濃度2.2-2.4 mg/l以上では活発な摂餌活動を行い、永続的な生存が可能であると指摘している。今回、対照区において5月の調査時に優占していたシズクガイが8月の調査時に生息が認められなかった原因として貧酸素の影響は考えられない。8月における対照区での底泥中の硫化物濃度が高かったことから、この硫化物が毒効果を発揮して、シズクガイを死滅させたものと考えられる。覆砂区においては底層水の貧酸素化が進行しなかったこととあわせて底泥中の硫化物濃度が低かった

表3 建網による主な漁獲物（尾数）の比較  
1992年6月から10月にかけて毎月1回延べ5回行い  
その平均値を反当たりの値で示す。

	覆砂区 (a)	対照区 (b)	a/b
甲殻類			
クルマエビ	16.8	2.0	8.4
ガザミ	8.0	11.0	0.7
計	24.8	13.0	1.9
魚類			
キス	3.8	2.0	1.9
マコガレイ	6.2	3.0	2.1
イシガレイ	2.4	0.0	-
計	12.4	5.0	2.5
総計	37.2	18.0	2.1

尾数/反

ため、底生動物の生息量が高く維持されたものと考えられる。

#### 5) 底生大型動物

建て網により漁獲された主な有用種のうち、底生動物を捕食すると考えられるクルマエビ、ガザミ、キス、マコガレイおよびイシガレイについてその全漁獲尾数を反当たりの尾数に換算し表3に示した。

クルマエビの漁獲量は、覆砂区の16.8尾/反に対し対照区では2尾/反であり、覆砂区では対照区の約8倍の漁獲量がみられた。魚類では覆砂区の12.4尾/反に対して対照区では5尾/反であり、覆砂区で2.5倍の漁獲量がみられた。漁獲量から判断すると明らかに覆砂区において有用魚種の生息量は多かった。この結果は上記の底生動物（マクロベントス）生息量のためと推測される。

#### 6) 結 び

覆砂区と対照区での底質環境、底生動物および底生大型動物の調査結果から以下のような一連の過程が考えられる。

- ① 覆砂を行うことによって底泥表面の好気的な状態が維持され、硫酸還元菌の活性が抑制される。
- ② 底質の環境が悪化する成層期においても覆砂区では良好な環境が維持され、底生動物の生息量も高く維持される。
- ③ 結果として、底生動物を餌料とするクルマエ

ビ、キス、カレイ類が集まり、漁場が形成される。

豊前海泥線周辺における覆砂は、泥からの栄養塩溶出を抑制し、底質からの二次汚染を軽減すると同時に底生動物を餌料とする魚介類の漁場となる可能性が強く示唆された。

覆砂後数年経過しても底質の改善効果は維持されており、覆砂は豊前海浅海部での底質改善手法として有効な手法であると考えられる。

### 文 献

- 1) 寺田和夫：周防灘西部（豊前海）の底質について、昭和56年度福岡県豊前水産試験場研究報告、161 - 182 (1983)。
- 2) 秋本恒基・山下輝昌：回流水槽による造州漁場の耐久性の検討、福岡県水技研報、第1号、211 - 215 (1993)。
- 3) 日本水産資源保護協会：水産用水基準改訂版 PP 26 - 27 (1983)。
- 4) 荒川清：泥質中の有機物の発酵とベントスの生息との関係、内水研報告、第7号、12 - 15 (1955)。
- 5) 畑幸彦：沿岸海域の底土堆積物中における硫化物の生成、水産大学校研究業績、第457号、63 - 65 (1965)。
- 6) 玉井恭一：シズクガイの貧酸素耐性、日水誌、59、615 - 620 (1993)。