

〈 ホタテ貝殻の覆砂代替材としての効果 〉

Effect on utilization of scallop shell as a substitute for capping sand

業務名	貝殻再利用化・適正処理の技術開発調査 (15-926)
委託者	水産庁 漁港漁場整備部
担当者	菊池 有,(泉田典彦)

Appropriate treatment of shells, mainly scallops and oysters, about 500 thousand tons of which are produced annually in Japan, is a challenging subject in high productive areas. On the other hand, to prevent from nutrient being released from sediment, which can often cause environmental problems in estuary or complicated coastal area, sand capping is usually done. However it is getting difficult to obtain sand because of exhaustion by over-extraction of it. In this study, we developed a technology to advance a recycle-based society by effective use of shells, which are composed of CaCO₃, a physically and chemically steady combination.

Key words: sand capping, shell, recycle-based society, improvement of sediment quality

1. 調査の目的

ホタテガイやカキ等の貝類は、生産地でむき身加工されることが多く、その際、貝殻が副産物として大量に発生しており、その発生量は年間約 50 万トン以上と推定され、生産地における深刻な廃棄物問題となっている。一方、地形の複雑な沿岸域や閉鎖性水域では、汚濁負荷の流入に伴い海底に有機物が堆積しやすく、これに起因して赤潮や貧酸素水塊が発生するなど、水産生物の生息環境への悪影響が懸念されている。特に海水温が上昇する夏季を中心に底泥からの栄養塩類の溶出が問題を引き起こすことが多く、このような状況の対処法の一つとして、砂で底泥を覆い栄養塩類の溶出を抑制する覆砂が実施されている。しかし、近年、海域や河川において海砂、川砂を過剰に採取したことによる砂の枯渇、環境影響が表面化し、採取規制への取り組みが始められ、砂資源の入手、利用が困難化しつつある。

このため本調査は、水産系副産物の有効活用による循環型社会の構築を推進するため、主成分が炭酸カルシウムで化学的、物理的に比較的安定な貝殻の性質に着目し、ホタテ貝殻を覆砂材として活用した場合の水質改善効果を室内試験および現地試験から明らかにし、その有効活用のための技術開発を図ることを目的として実施した。

2. 調査の方法

本調査は、下記の手順で実施した。

(1) 室内試験

貝殻覆砂による底質からの栄養塩類の溶出抑制について、粉碎し粒径を調整した貝殻を用いてパイプ内に覆砂材を詰め、その空隙に栄養塩類 (NH₄-N) を添加し、貝殻層内及び砂層内の有効拡散係数を求めた。

(2) 現地試験

青森県野辺地漁港内において、貝殻覆砂の現地効果調査(夏季)を行った。室内試験と同様の貝殻を用いての覆砂試験区(対照区含む)を設け、採取した直上水ならびに間隙水における栄養塩類の濃度分析結果から、実海域での貝殻覆砂による溶出抑制効果について検討を行った。

(3) 青森県におけるホタテガイ有効利用の検討

青森県における貝殻の年間発生量を市町村別に把握し、県内に 1 か所、あるいは 3 か所の貝殻加工施設を整備し、貝殻リサイクルを行う際の経済性について検討を行った。

3. 主な調査結果

3.1 試験の着眼点

図-1 に示すように、底泥から溶出した栄養塩類は、覆砂層の存在によって水中への拡散による移動を阻まれる。覆砂による栄養塩類の溶出抑制は、栄養塩類の拡散による移動の速度が減少することで説明される。ここで、栄養塩類の拡散による移動の速度を、単位時間あたりに栄養塩類が拡散する距離 (m^2/h など) で表したものを有効拡散係数 De と表現する。

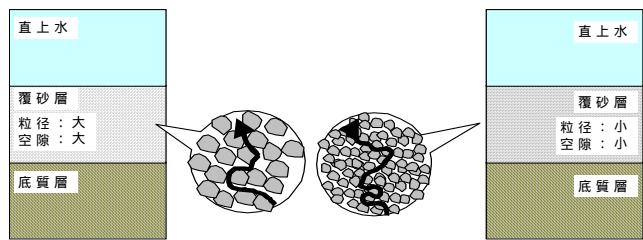


図-1 覆砂による溶出抑制効果の概念図

栄養塩類の拡散による移動は、その栄養塩類が移動する環境、すなわち、覆砂材の粒径とその分布により形成される空隙率、迷宮度（栄養塩類の通り道の曲がりくねり）により影響を受ける。さらに、覆砂材の粒度及びその分布によって生じる空隙率、迷宮度の差は、有効拡散係数 De に現れることから、覆砂材の違いによる溶出抑制効果を室内試験から求め、覆砂材の空隙率と有効拡散係数 De の関係を把握した。また、現地調査では、室内試験での結果を踏まえ、砂による覆砂の効果と貝殻による覆砂の効果について比較し、有効拡散係数 De の差が示す覆砂層と直上水の栄養塩類の濃度差や各層における栄養塩類の濃度分布等、覆砂材おける溶出低減効果について実海域での検証を行った。

3.2 覆砂材（加工貝殻）の概要

(1) 貝殻利用に当たっての課題

覆砂材としての貝殻の利用においては、貝殻の表面・内部にある有機物を効率的に除去すること、高温で加熱処理された貝殻は酸化カルシウム含有量が増加するため、水中に投入したとき加熱温度が高いほど急激に pH を上昇させること、貝殻の粒度調整、の3つの課題があるが、これらに対しては、アコヤガイを約 550 の熱風で加熱処理を行うことにより、有機物の除去、pH 上昇の抑制、粉碎の容易性の問題を解決しており¹⁾、実験に用いたホタテ貝殻にあたっても同様の処理を行った。

(2) ホタテ貝殻の加工方法

貝殻覆砂材の原料としたホタテ貝殻は、青森県内で平成 15 年 6 月頃に水揚げされ、加工場にてボイル、むき身加工された際に生じたものを用いた。なお、表-1 に使用する覆砂材の粒度分析結果を示す。また、使用した貝殻は写真-1 の通りである。

表-1 使用する覆砂材の粒度分析結果

	1~2mm	~2mm	2~10mm	10~20mm	~20mm	砂
最大粒径(mm)	-	2	-	20	20	1.4
中央粒径(mm)	-	0.3	-	11.9	3.1	1.1
空隙率(%)	48.4	39.4	52.9	60.2	36.5	34.2



粒径 20mm 以下 粒径 2mm 以下
写真-1 使用した貝殻

(3) ホタテ貝殻の加熱による成分変化

栄養塩類の含有量と貝殻からの栄養塩類の溶出について試験を行った。試験方法は、未処理原貝と加熱した貝殻とを対象に、人工海水 5 に対し検体量 500g を用いての 30 日間の溶出試験（水温 20 に設定）を実施した。試験結果によると、pH は溶出試験開始後 7 日~15 日で 7.7~7.8 とほぼ一定になっており、平衡の状態にあると推定される。T-N の溶出濃度についても、溶出試験開始後 7 日~15 日で加熱貝殻は 1.0mg/ 以下でほぼ一定濃度となり、溶解平衡の状態にあると推定される。

3.3 室内試験結果

覆砂による底質からの栄養塩類の溶出抑制について 粒径を調整した貝殻及び砂を用いてパイプ内に覆砂材を

詰め、その空隙に栄養塩類を添加し(図-2)、貝殻及び砂層内の有効拡散係数(NH₄-Nを対象)を求めた。試験は、空隙にNH₄-N溶液を投入し、その上部を蒸留水で満たし、蒸留水に溶出するNH₄-N濃度を計測した。なお、試験条件は、表-2に示すとおりである。

表-2 試験条件

試験条件	No.1	No.2	No.3	No.4	No.5	No.6
使用覆砂材	貝殻(粒径:mm)					砂
	1~2	~2	2~10	10~20	~20	
使用溶質	塩化アンモニウム(NH ₄ -Nとして5,000mg/lに調整)					
上部液層	蒸留水					
攪拌条件及び攪拌速度	攪拌条件:静置55分,攪拌5分,攪拌速度:10rpm					
採取条件	水質の採取:6回(0日目,1日目,2日目,3日目,7日目,17日目)					
測定項目	NH ₄ -N,水温,pH					

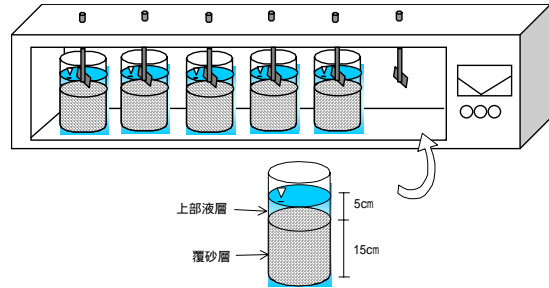


図-2 試験容器及びジャーテスターイメージ図

(1) NH₄-Nの経時変化

図-3にNH₄-Nの経時変化を示す。全てのケースにおいて、時間の経過とともにNH₄-Nの溶出が確認され、17日後の溶出量をみると、覆砂材の空隙率が大きいほど溶出量が多い傾向であった。また、砂においては、貝殻覆砂材と同様時間の経過とともにNH₄-Nの溶出が確認され、貝殻粒径2~10mmと同程度の溶出量であり、貝殻粒径~2mm、~20mmよりも高い溶出量であった。これらの状況は、覆砂により栄養塩類の溶出抑制が行われ、上部液層にその効果が表れたものと推察される。

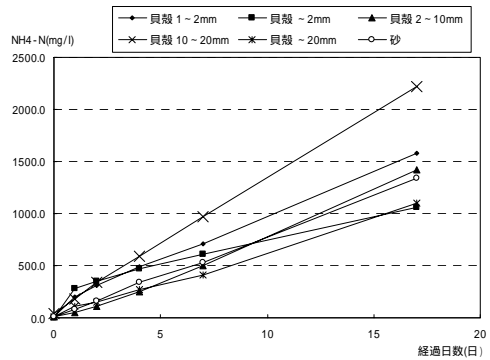


図-3 NH₄-Nの経時変化

(2) 有効拡散係数 De

有効拡散係数 De は、覆砂層内の有効拡散係数 De をパラメータとして、上部液層内部の注目成分(NH₄-N)の濃度 C を時間 t の関数として求め、室内試験の試験結果に近似させることにより、覆砂層におけるNH₄-Nの有効拡散係数 De を推定した。各覆砂材の有効拡散係数は、仮定した有効拡散係数より求められたNH₄-Nと試験結果のNH₄-Nとの対応より De/ (空隙率) を求めて算出した。図-4に貝殻~20mmの試験結果と対応する De/ を示す。仮定した De/ と試験結果との対応より求められた各ケースの有効拡散係数を表-3に示す。

ここで、迷宮度とは覆砂層内における曲がりくねりの度合いのことで物質の拡散を抑制するブロック効果を示し、迷宮度が大きいほど物質の拡散の抑制が高くなる。試験を行った覆砂材の有効拡散係数 De は表-3に示す通り、貝殻覆砂材では $2.0 \times 10^{-7} \sim 1.1 \times 10^{-6} (m^2/h)$ であり、砂では、 $2.4 \times 10^{-7} (m^2/h)$ であった。砂と貝殻の有効拡散係数を比較した場合、貝殻粒径2mm以下または20mm以下と同程度であった。

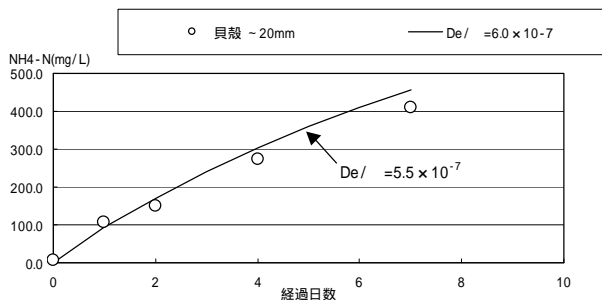


図-4 試験結果と De/ の関係(粒径~20mm)

表-3 覆砂材別有効拡散係数 De

使用覆砂材	No.1	No.2	No.3	No.4	No.5	No.6	備考
	貝殻 1~2mm	貝殻 ~2mm	貝殻 2~10mm	貝殻 10~20mm	貝殻 ~20mm	砂	
有効拡散係数: De(m ² /h)	5.8×10^{-7}	2.0×10^{-7}	3.2×10^{-7}	1.1×10^{-6}	2.2×10^{-7}	2.4×10^{-7}	分子拡散係数 Dm: 6.0×10^{-6}
空隙率: (%)	48.4	39.4	52.9	60.2	36.5	34.2	
迷宮度: X(-)	5.0	12.0	10.0	3.3	10.0	8.6	

次に、実測された有効拡散係数 De と空隙率 の関係について図-5 に示す。これと実測データを原点と結んだ直線の勾配 $De / \text{空隙率}$ の値が迷宮度の逆数 $1/X$ に比例することがわかる。さらに、本試験で算出された迷宮度の値が、試料により2つのグループに分けられる。

すなわち、貝殻覆砂材の最大粒径と最小粒径の比率が小さい覆砂材（貝殻粒径 1~2mm, 10~20mm）では、迷宮度が小さくなっている。逆に最大粒径と最小粒径の比率が大きい覆砂材（貝殻粒径 ~2mm, 2~10mm, ~20mm）では、迷宮度が大きくなっている。

これは、形状が不揃いであり、大きな粒径の隙間に小さな粒径が入り込むことにより曲がりくねりの度合いが大きくなり、また物質の拡散を抑制する効果が大きくなったためと考えられる。このことから、覆砂による拡散抑制効果を大きくするには、覆砂材の空隙率を小さくし、かつ迷宮度を大きくするために、粒度分布幅の大きい破砕物を使用することが望ましいと推定される。

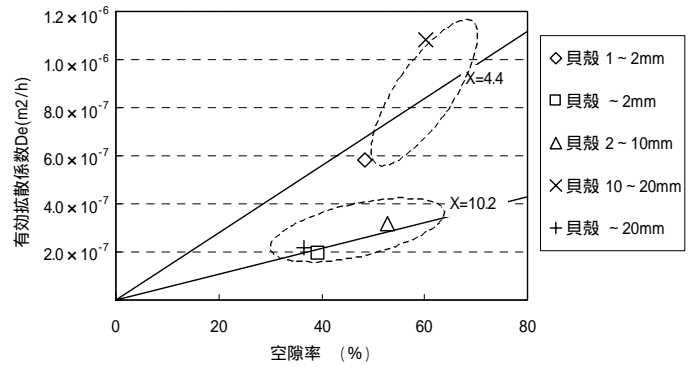


図-5 有効拡散係数と空隙率の関係

3.4 現地試験結果

(1) 調査内容

青森県野辺地漁港内（図-6）において、表-4の仕様による現地試験を行った。現地試験では粒径を調整した貝殻覆砂材と砂を使用した。調査地点の海底面に幅奥行き1.0m程度の型枠を設置し、型枠の内側に覆砂用貝殻もしくは砂を厚さ0.3mに敷設した（図-7）。また、上記の試験区の設置にあわせて、採水装置を設置した。

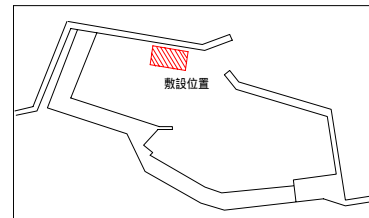


図-6 調査位置図

表-4 調査区の設定

敷設覆砂材	対照区	覆砂区			砂
		貝殻 (粒径: ~ 2mm)	貝殻 (粒径: 10 ~20mm)	貝殻 (粒径: ~ 20mm)	
覆砂層厚さ	-	約30cm			
調査区大きさ		1.0m² (1.0m x 1.0m)			
調査区設置数	1区	各2区			

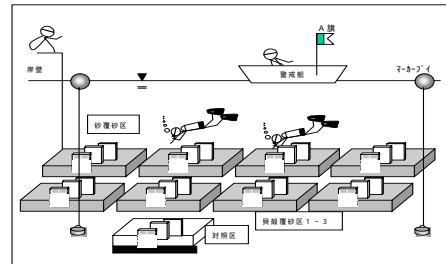


図-7 設置区状況

(2) 水質分析結果

NH_4-N は、図-8 に示すとおり、敷設 40 日後、敷設 75 日後のいずれにおいても、底泥層間隙水で最も高く、次いで覆砂層間隙水、直上水の順に濃度が減少していた。底泥層・覆砂層間隙水は、対照区の間隙水よりも濃度が大きかった。

(3) 覆砂材の種類と NH_4-N の溶出速度

現地試験で得られた N (底泥層間隙水と直上水の差) と $1/De$ の相関を図-9 に示す。これによると $1/De$ が大きいほど N が大きい、つまり覆砂による栄養塩類の溶出抑制効果が大きいと言える。また、貝殻覆砂層内 (~2mm, ~20mm) の NH_4-N の拡散速度

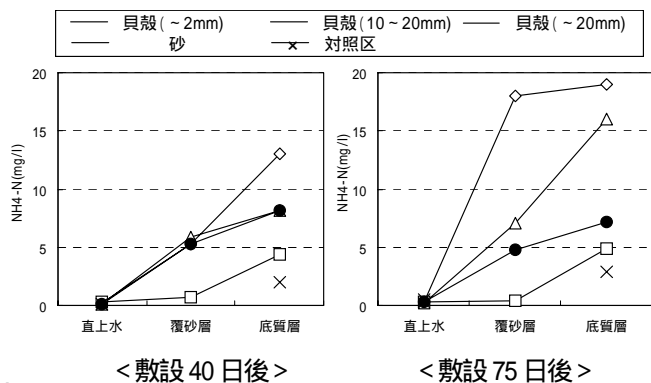


図-8 NH_4-N の鉛直分布

は、室内試験結果と同様、砂の覆砂層内のNH₄-Nの拡散速度と比べ、同程度となっている。このことから使用した貝殻覆砂材（～2mm、～20mm）は、砂と同程度の栄養塩類の溶出防止効果が得られていることが判断された。

3.5 青森県におけるホタテガイ有効利用の検討

青森県で発生するホタテガイ貝殻を対象に、収集・運搬を行い、リサイクル施設で加工し、その製品を販売するときの経済性について検討を行った。

- ・施設を青森県内1箇所に整備した場合、施設整備は1,503,700～2,067,700千円であり、3箇所に分散して整備した場合は2,084,300千円～3,021,900千円と試算された。
- ・全てのケースにおいて、排出者よりリサイクルの費用負担がなければ施設の維持ができない結果であった。
- ・貝殻覆砂材を青森県内の砂の価格（2,925円）で販売する場合、事業収支が赤字にならないためには、施設を青森県内1箇所に整備した場合は、4,420～4,670円/トンが必要であり3箇所に分散して整備した場合は4,880～5,640円/トンが必要となる。また、施設運営費のみの費用負担は、施設を青森県内1箇所に整備した場合は、2,010～2,660円/トンが必要であり3箇所に分散して整備した場合は3,470～4,230円/トンが必要となる。
- ・本検討で試算された排出者負担は、他の事例に比べ負担金額が小さいものであった。

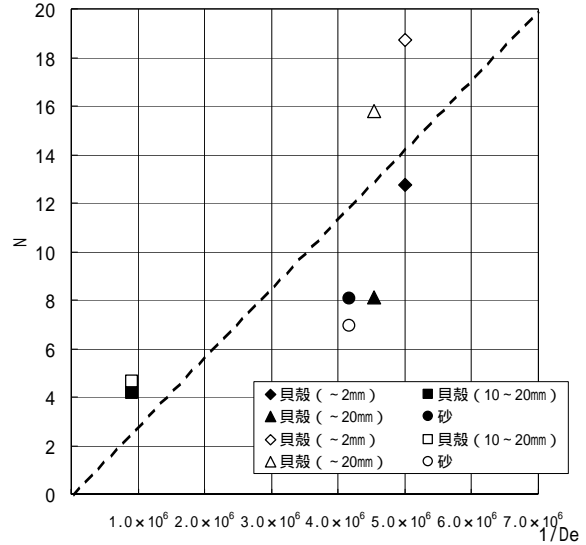


図-9 N(底質間隙水と直上水の差)と1/Deの相関

4. 成果の活用

覆砂材の種類（粒径）の違いによる覆砂効果の差が室内試験、現地試験を通じて確認され、砂と貝殻（粒径：～2mm、～20mm）は同程度の覆砂効果であった。またその効果は、有効拡散係数Deによって定量的な評価が可能であると考えられる。

今後の課題としては、所要の効果を踏まえた覆砂層の厚さや波浪に対する安定性の検討等を行い、現地に適した工法を確立していく必要があると考えている。

参考文献

- 1) 環境事業団 平成13年度次世代廃棄物処理技術基盤整備事業成果報告書 平成14年3月

関連情報

- 2) 水産庁 漁港漁場整備部 平成14年度 貝殻再利用化・適正処理の技術開発調査 報告書