

学 位 論 文 題 名

新素材による藻場造成の研究

学位論文内容の要旨

〔目的〕 北海道の日本海沿岸では「磯焼け」の状況が継続しており、藻場の消失によるウニ・アワビなど植食動物の餌料不足、魚類の産卵場・稚仔魚の生育場の喪失など様々な弊害が発生している。これまでに「磯焼け」対策として岩礁爆破、削滯などにより海藻の着生面を更新したり、新たな基質として自然石やコンクリートブロックを海域へ投入するなど、様々な藻場造成事業が行われてきている。しかし、その成果は十分に得られておらず、特に、藻場を持続的に形成できず大きな問題となっている。

本論文ではこれまでの技術開発の問題点や海洋条件を整理し、新たな視点から表面に微細な凹凸形状を有し、微量な栄養塩（窒素・リン）が長期間にわたって溶出する藻場造成用基質の開発を進め、その有効性を確かめ、藻場の設計を行ったものである。

〔材料・方法〕 コンクリート板の栄養浸透実験：栄養塩を包含して溶出させる素材としてコンクリートを取り上げ、コンクリート板の栄養塩の浸透実験を行った。使用したコンクリート板を水槽の中央に設置して間仕切り、一方に純水、他方に栄養塩溶液を入れた。栄養塩としては 20%の硝酸ナトリウムおよび 2%トリポリリン酸ナトリウム混合液を用いた。透過する硝酸イオンおよびリン酸イオンについてコンクリートの厚さ別に経時変化を求めた。

次に栄養塩として有効な窒素を多量に含む産業廃棄物である使用済み脱硫剤（以後脱硫剤と称する）について注目し、化学成分、性状、安全性について調べた。さらに、ワカメ・マコンブの配偶体と幼胞子体の成長に与える影響を培養実験によって調べた。

培養には脱硫剤 1g と 2g を 500ml の海水に浸漬し、その上澄み海水を使用し、培養開始後 20 日、30 日後に幼胞子体の測定（葉長、葉幅）を行った。

さらにホソメコンブの発生と成長について培養実験を行った。実験は、遊走子を放出させた胞子液を予め作成し、リン酸態リン濃度 0~10.0 μM の 6 段階と硝酸態窒素濃度 0~100 μM の 7 段階と組み合わせて光量、水温を変えて

培養し、卵の形成や幼胞子体数を調べた。

脱硫剤の配合割合と栄養塩溶出量との関係および構造物を造形するために必要なコンクリート強度を把握するために、脱硫剤を 1m^3 当たり 300 ～ 500kg で配合割合を変えたコンクリートを 4 年間にわたって 1 年ごとに溶出試験および圧縮強度試験を行った。また、 20°C の純水に浸漬し、硝酸イオン濃度を測定した。また同時に脱硫剤 $450\text{kg}/\text{m}^3$ を配合した構造物を純水に入れ、リン酸態リンおよび亜硝酸態窒素の発色試薬により溶出状況を観察した。

脱硫剤を $450\text{kg}/\text{m}^3$ 配合したコンクリート（以後ビオユニットと称する）を作製し、日本海側の瀬棚町海域に設置し、4 年間にわたって海藻着生量を調査した。海藻類の着生基質と表面形状の関係について調べるために普通コンクリートの表面に幅 1cm、深さ 1cm の溝を付けた基質、ビオユニットに微細な凹凸形状を持たせた基質、火山礫を配合して凹凸を付けた基質の 4 種類に珪藻を着生させ、さらにキタムラサキウニ、エゾアワビ、ヘソアキクボガイに摂餌させ、植食動物の摂餌量と表面形状との関係を調べた。

事業化に向けて、藻礁の設計の基本として①構造物の着生面は微細な凹凸のある構造とする、②重心を低くする、③構造物の揚圧力を軽減するために上部面に投影面積の 10% の孔をあける、④トレーラーの運搬を考慮して 1 辺の長さは 2.4m とする。このような視点で 1/40 縮尺模型を作製し、流体力係数（抗力係数、質量係数）を求め、安定性について検討した。また、ビオユニットを使用した藻礁について構造体の強度について計算し、安全性についても検討した。

〔結果・考察〕 コンクリート板における栄養塩の透過速度はコンクリート板の厚さに依存し、時間の関数として示される。これらのことから、栄養塩溶出型基質の素材として十分使用できることが分かった。

脱硫剤は石炭灰、石膏石灰を混合して成型した平均 5 ～ 6mm 程度のアルカリ性の円柱状のペレットに排気ガスの窒素酸化物の硫酸化物を吸収させたもので、主成分は酸化カルシウム、ケイ酸、窒素を質量百分率 0.14% ～ 0.45% 含有する。ワカメについて脱硫剤の上澄液を使用して培養した結果、PES と同等の良い成長を示した。脱硫剤から溶出する成分は幼胞子体の成長に対して非常に効果的な栄養塩であり、成長を阻害するような悪影響は見られず、安全性には問題ない。しかし脱硫剤を栄養源として使用する場合にはリン物質を添加補充する必要がある。磯焼け地帯の瀬棚町の海域に設置した試験礁にはホソメコンブを中心とした海藻が繁茂し、植食動物に摂餌され害を受けるが、翌年には再びホソメコンブ群落が形成されることが観察され、栄養塩

溶出基質が有効的に機能することが分かった。

表面形状の異なる基質別に珪藻の着生状況を調べ比較した結果、普通コンクリート平面 1 に対して溝付では 1.2、火山礫では 1.4、バイオユニットでは 1.5 となり、投影面に微細な凹凸形状を形成させると珪藻の着生が良くなることが分かった。また植食動物の摂餌と基質形状によって摂餌率を調べた結果、コンクリート表面＞溝付き＞火山礫＞バイオユニットの順となった。

バイオユニットの模型を使って開水路を用いて流体力を計測して抗力係数を算出したところ、迎角によって変化し最大で 1.6 が得られた。そこで海域に設置する時の碎波水深などを考え安全性を配慮すれば、抗力係数 2.0 を採用するのが妥当である。また、波動中に置かれた模型ブロックが移動する時の流体力から逆算して質量係数を求めたところ 3.0 が得られた。

流体力実験に基づき藻礁として 4 トン型のバイオユニットを海域に設置して観察しているが移動、転倒などの事故は今までに起きてはいない。

脱硫剤を 1m^3 当たり 450kg をコンクリートに配合したバイオユニットは材料強度、構造上特に問題はない。また天然礁に比較して海藻が多く着生している。少ないところで $7.6\text{kg}/\text{m}^2$ 、多いところで $24\text{kg}/\text{m}^2$ であった。

栄養塩充填剤の濃度とコンクリート強度の試験結果、栄養塩充填剤の濃度は硝酸ナトリウム 20%、トリポリリン酸 2% が適正と判断された。また各素材の栄養塩溶出量と圧縮強度の試験結果、脱硫剤で $200\text{kg}/\text{m}^3$ 以上、珪藻土 $250\text{kg}/\text{m}^3$ 以上の配合で溶出量の目標値 $150.6\mu\text{g}/\text{hr}$ を上回っている。また材料強度は $30\text{N}/\text{mm}^2$ 以上となり問題はない。一方火山礫を配合したコンクリートは栄養塩の溶出量、材料強度はこれらの値を下回り使用できない。

マコンブを使って基質別に培養実験を行ったところ脱硫剤 $450\text{kg}/\text{m}^3$ を配合したバイオユニットと、硝酸ナトリウム 20% とトリポリリン酸ナトリウム 2% 混合溶液を充填した脱硫剤を $200\text{kg}/\text{m}^3$ 配合したバイオユニットでは同じような着生本数と成長が観察された。このことから経済性を考えれば、後者の方法を用いるのが最適と考える。脱硫剤は栄養塩の添加により使用量が以前の 1/2 以下となり、大幅にコストダウン (10% 以上) を計ることが出来る。しかし、添加したトリポリリン酸ナトリウムはコンクリート内のカルシウムと結合し、ほとんど溶出しないなどの課題も生じている。現在はトリポリリン酸に代えてマジカルリン酸を添加した基質で検討している。

学位論文審査の要旨

主 査 教 授 梨 本 勝 昭

副 査 教 授 山 本 弘 敏

副 査 教 授 山 本 勝太郎

副 査 助教授 平 石 智 徳

学 位 論 文 題 名

新素材による藻場造成の研究

沿岸環境の荒廃に伴い、磯焼けなどが生じ、天然藻場の衰退が著しく進んでいる。近年、大形褐藻群落（藻場）の造成が生物生産と環境修復の目的で積極的に行われて生きている。今まで取り組まれている藻場造成技術としては着生基質の改良、および藻食動物による食害の防除などが必要な課題とされ、様々な技術開発が試みられてきている。特に磯焼けの進んだコンブ漁場では長年自然石の投石とコンクリートブロックなどの設置が行われてきており、投入後数年間はコンブ類は良く着生して繁茂し効果が著しいが、その後は雑海藻が優占的に繁茂してしまい、コンブの着生と成育が悪くなる傾向がある。このような現象は天然岩礁でも同様に見られ、高圧水の噴射、岩礁爆破、大型海底洗耕機などによる雑海藻除去によりコンブ漁場の回復が試みられている。天然岩礁で新しい着生基質の設置や雑海藻除去を行った場合の効果の持続性は初めのうちは周辺の岩礁と異なる群落を形成されるが、早晚同じ状態になることがコンブ漁場では良く知られている。コンブ漁場を持続的に形成させるために攪乱による基質の更新が必要とされている。また、コンブ類などの大型海藻の消失した岩礁域に群落を形成させる目的でコンクリートブロックの設置と種苗移植を併用しても植食動物の食害により藻体が消失して、磯焼け現象を呈する場合が多い。食害動物の中でもウニ類は日本の広い範囲の沿岸域で藻場の消失に大きな影響を及ぼす食害種となっている。忌避物質やいろいろな侵入防止フェンスなどが考案され食害防除の方法は種々試みられているが、持続性、確実性、経済性、技術性などの面から十分な実用的な方法となっていない。

沿岸域における環境の修復とコンブ類などの有用な海藻や底着性動物の安定的生産を計るためには 藻場を持続的に造成することがなによりも重要な課題となっている。

本論文では磯焼け地帯における藻場造成のこれまでの技術開発の問題点や海況条件などについて整理し、特にコンブ類の群落形成については初期成育時におけ

る窒素、リンの栄養塩の供給と植食動物の食害防止が重要な課題であることに着目した。そして、窒素成分が含まれ多孔質の産業廃棄物の使用済脱硫剤をコンクリートの組骨材として使用して、窒素、リンの栄養塩が長期にわたって持続的に溶出させる構造を持たせた藻礁基質の開発を進め、その効果について実験室および実海域で調べた。さらにその基質を用い、表面に微細な凹凸形状を持たせ植食動物の餌食行動を制御できる藻礁を設計し、実海域に設置して、有効性について確かめ、藻場造成のために実用的な資料を得たものである。新しい素材として窒素成分が含み、多孔質の使用済脱硫剤に注目し、これをコンクリート骨材として利用し栄養塩（窒素成分）が長期的にわたって持続的に溶出することを確認、コンブの初期（配偶体から幼孢子体）成長に必要な栄養塩濃度と藻礁として構造体を製作する時の材料強度の両面から使用済脱硫剤の最適配合割合を決定した。

また、同じ機能を発揮させるために使用済脱硫剤に硝酸ナトリウム、トリポリ酸ナトリウムの塩類を充填して、骨材として使用することによって配合割合を少なくし、生産コストの低減化を図った。さらにこれらの素材を用いて実用的視点から表面に微細な凹凸形状を設けた藻礁を設計して、磯焼けの著しく進んだ北海道の日本海沿岸数ヶ所に設置して有効性について検討し、持続的にコンブ海藻群落を形成させるための藻礁素材の開発を行い、技術開発の実用的資料を得たものである。

特に審査員一同が高く評価した点は以下の通りである。

- 1) ホソメコンブ群落を形成させるためには初期成長段階（配偶体から幼孢子体）における窒素、リンの供給と食害防止が重要であることを注目した点。
- 2) 産業廃棄物の使用済脱硫剤をコンクリートの組骨材として利用し、長期間にわたって持続的に栄養塩を溶出できる新しい素材を開発した点。
- 3) 藻礁の構造物を作製する時のコンクリート強度およびホソメコンブの初期成育段階における必要な栄養塩の溶出濃度から使用済脱硫剤のコンクリート配合割合を 450kg/m^3 と決定した点。
- 4) 経済性の視点より検討を加え、使用済脱硫剤に濃度20%の硝酸ナトリウム溶液および濃度2%のトリポリ酸溶液を充填することによって使用済脱硫剤の配合量を 200kg/m^3 に減量してもコンクリートに必要な強度は変わらず、栄養塩の溶出が得られることを確かめた点。
- 5) 新素材を用いて表面に微細な凹凸形状を設けた4トン型藻礁を設計し、構造計算、波力に対する安定性について検討し、実海域で7年間にわたって調査して、その有効性について確かめた点。

以上の成果は磯焼けを防止し、藻場を積極的に造成するための有効的な実用的技術として高く評価できる。よって審査員一同は本論文が博士（水産科学）の学位論文として価値あるものと判定した。