

氏名(本籍)	亀山 剛史 (日本)
専攻	安全システム建設工学専攻
学位の種類	博士(工学)
学位記番号	博甲第92号
学位授与の要件	学位規則第4条第1項該当者
学位授与の年月日	平成26年3月24日
学位論文題目	多孔質体を用いた藻場造成構造物および海域環境改善技術に関する研究
論文審査委員	(主査)末永 慶寛 (副査)増田 拓朗 (副査)松島 学

論文内容の要旨

我が国の沿岸域は、かつて藻場が広範囲に分布し、豊かな海域環境を形成していた。藻場は、魚類等の産卵場や稚仔魚の成育場としての役割を果たし、沿岸漁業と深い関わりがある。しかし、先の東日本大震災による海底の地盤沈下や各種沿岸開発に伴う藻場の減少は深刻化しており、藻場の修復、造成およびより高度な海域環境改善技術の開発が望まれている。

香川県においても藻場は、沿岸漁業と深い関わりがあり、自治体や漁業関係者らによる藻場の現状把握のための現地調査や藻場の修復・造成研究が進められているものの、安定した海藻着生基盤や環境改善に関する技術に乏しく、未だ有効な技術開発には至っていない。

これらの改善策として、全国的にも様々な藻場造成構造物が開発され、藻場造成が行われているが、そのほとんどが磯焼けの発生や浮泥の堆積による着生基盤としての効果が失われ、事業実施の成果が乏しい現状である。特に、藻場の分布する浅海域では、流動環境の多様性が期待できる海底勾配の急な部分から平坦部へ移行する場所への藻場造成構造物の設置が求められるようになってきた。このような場所に構造物設置する場合は、構造物設置後の滑動、転倒さらには揚力に対する安定性に乏しくなるため、安定性向上のための技術開発も急務となっている。

本研究では前述の問題を解決するために、多孔質体を用いた新規藻場造成構造物および悪化した海底環境を改善し、生物にとって好適な環境を提供可能な環境改善基質の開発を行い、新たな海域環境改善技術を検討した。

本論文は、これまで有効な藻場造成技術が少なく、対象海域の特性に応じた藻場造成技術が求められる中で、有用藻類であるガラモを中心とした海藻群落の特徴を現地観測により把握し、対象海域の環境条件に即した、より高度な藻場回復および造成技術を開

発するための有用な知見を得ている。

本論文は、以下の6章により構成される。

第1章は、序論として、藻場造成に関する研究背景、研究目的および既往の研究の整理を行っている。

第2章は、多孔質体を用いた新たな藻場造成構造物を開発するための問題点を抽出し、製造技術、藻場造成構造物底部の摩擦抵抗を高めるための滑動防止用スパイク構造、内部に揚力軽減用の空孔部を設けた新たな藻場造成構造物を設計し、各部材の強度試験、水理実験による海底設置時の安定性を検討し、揚力による浮き上がりを抑制することが今後の藻場造成構造物の開発に必要であることを指摘した。

第3章は、前章で設計した藻場造成構造物について、実機スケールでの滑動実験による摩擦係数を算定した後、海底勾配の急な場所での安定性向上機能を検証した。また、前章で指摘した、これまで藻場造成構造物の海底設置後の安定計算の中で検討されていなかった揚力に対する安定性を確保するために、構造物内部に設ける空孔部の適正な割合を定量的に評価した。

第4章は、藻場造成構造物を実海域（瀬戸内海、東北地方の震災海域）に設置し、設置後の時間経過に伴う海藻類着生量、魚類の蝸集量をモニタリングし、既存の藻場造成で用いられている着生基質に対する優位性を検証した。また、本研究で開発した藻場造成構造物の特徴である、着脱可能な着生基質の海藻移植、餌場創造機能についても現地での実機実験を行った結果、基質を移植後は、実際に有用魚類に利用されていることを検証し、本機能は震災で甚大な被害を受けた海域においても有用な技術となりうることを指摘した。

第5章は、全国的に深刻化する海域環境問題を解決するために、焼成骨粉（HAP）と産業副産物（鉄鋼スラグ）を骨材とした多孔質体を製作し、底質中に含まれる有害金属類を吸着かつ安定不溶化可能な底質改善技術を開発すると同時に、吸着された金属類の中から有用な物質を再資源化するための技術についても検討を行った。その結果、瀬戸内海において、特に、底質環境悪化が懸念されている鉛、カドミウム、銅について、底泥中の各金属の濃度は、多孔質体設置後に有意に低下すること検証し、有用な金属は、90%以上が有資源化可能であることを解明した。また、これまで不明であった多孔質体の金属吸着機能が継続する期間について、群落光合成法の数理解析により検討した結果、約3年で飽和状態に達することを解明し、多孔質体の交換時期を指摘した。

第6章は、結論として研究成果のとりまとめを行う中から、今後の藻場造成および海域環境改善における課題と展望を述べている。

審査結果の要旨

審査申請者は、有用な水産資源の産卵場や成育場として極めて重要な場所である藻場の

衰退を抑制するための研究を行ってきた。特に、産業副産物と天然無機素材を利用した新たな藻場造成構造物を開発し、実海域への設置を経て、生物着生機能、海域環境改善機能を評価・検討することを目的に、新たな藻場造成および海域環境改善技術の検討を行った。

本研究成果は、これまで有効な藻場造成技術が少なく、対象海域の特性に応じた藻場造成技術が求められる中で、有用藻類であるガラモを中心とした海藻群落形成過程を現地観測により把握し、対象海域の環境条件に即した、より高度な藻場回復および造成技術を開発するための有用な知見を得ている。これらは、今後の藻場造成および海域環境改善技術としても資するところが多いことから、本学位論文は博士論文に十分値するものと判断した。

本論文は6章により構成され、その概要は以下の通りである。

第1章は、序論として、藻場造成に関する研究背景、研究目的および既往の研究の整理を行っている。

第2章は、多孔質体を用いた新たな藻場造成構造物を開発するための問題点を抽出し、製造技術、藻場造成構造物底部の摩擦抵抗を高めるための滑動防止用スパイク構造、内部に揚力軽減用の空孔部を設けた新たな藻場造成構造物を設計し、各部材の強度試験、水理実験による海底設置時の安定性を検討し、揚力による浮き上がりを抑制することが今後の藻場造成構造物の開発に必要であることを指摘した。

第3章は、前章で設計した藻場造成構造物について、実機スケールでの滑動実験による摩擦係数を算定した後、海底勾配の急な場所での安定性向上機能を検証した。また、前章で指摘した、これまで藻場造成構造物の海底設置後の安定計算の中で検討されていなかった揚力に対する安定性を確保するために、構造物内部に設ける空孔部の適正な割合を定量的に評価した。

第4章は、藻場造成構造物を実海域（瀬戸内海、東北地方の震災海域）に設置し、設置後の時間経過に伴う海藻類の着生量、魚類の蛸集量をモニタリングし、既存の藻場造成で用いられている着生基質に対する優位性を検証した。また、本研究で開発した藻場造成構造物の特徴である、着脱可能な着生基質の海藻移植、餌場創造機能についても現地での実機実験を行った結果、基質を移植後は、実際に有用魚類に利用されていることを検証し、本機能は震災で甚大な被害を受けた海域においても有用な技術となりうることを指摘した。

第5章は、全国的に深刻化する海域環境問題を解決するために、焼成骨粉(HAP)と産業副産物（鉄鋼スラグ）を骨材とした多孔質体を製作し、底質中に含まれる有害金属類を吸着かつ安定不溶化可能な底質改善技術を開発すると同時に、吸着された金属類の中から有用な物質を再資源化するための技術についても検討を行った。その結果、瀬戸内海において、特に、底質環境悪化が懸念されている鉛、カドミウム、銅について、底泥中の各金属の濃度は、多孔質体設置後に有意に低下すること検証し、有用な金属は、90%以上が再資源化可能であることを解明した。また、これまで不明であった多孔質体の機能が継続する期間について、光一光合成曲線の飽和モデルを応用して検討した結果、約3年で飽和状態に達す

ることを解明し、多孔質体の交換時期を指摘した。

第 6 章は、結論として研究成果のとりまとめを行う中から、今後の藻場造成および海域環境改善における課題と展望を述べている。

(在学中の学術論文審査)

審査申請者は、これまで多孔質体を装着した藻場造成構造物の開発およびそれらを用いた海域環境改善技術に関する研究を行っており、これまで 6 編の学術論文 (内 4 編が筆頭著者) にまとめている。これらの 6 編は全て、平成 23 年 4 月に社会人学生として本工学研究科博士後期課程に入学後の業績であり、学術雑誌 5 編 (内 3 編が筆頭著者) および国際学会の査読付き論文集 1 編 (筆頭著者) に発表し、受理されている。また、研究成果の一部は実用化され、平成 24 年 2 月にかがわ産業支援財団の芦原科学賞 (功労賞) を共同受賞した。

以上の結果、当該審査に関わる本学位論文は、香川大学大学院工学研究科博士後期課程修了の学位に相応しい内容と判断する。

最終試験結果の要旨

公聴会および最終試験 (口述試験) を、平成 26 年 2 月 4 日 10:00 から実施した。まず、審査申請者は、学位論文内容に関する発表を行い、多孔質体を用いた藻場造成構造物の特徴と海域環境改善技術に関する検討結果を簡潔かつ明瞭に説明した (約 70 分間)。その後、質疑応答に移り、審査申請者は、審査委員および聴講者から出た以下の質問に対し、全体的に回答した (約 30 分間)。

質問と回答の概要は、以下の通りである。

- ・多孔質体の最適空隙率について。

回答：有用小型餌量生物着生量と強度の両面から検討しており、30%前後の空隙を有する多孔質体が着生量に最も有効に機能することを確認している。

- ・構造物形状の仕様について。

回答：生物着生に重要な役割を果たす流動制御機能を有することと、海底勾配が急な場所での安定性を確保することを必須として六角形を基本とした。また、生物の棲み分けを考慮し、構造物を連結して「群」としての活用も可能である。

- ・HAP を選定した理由について。

回答：HAP 以外にも炭酸カルシウムや水酸化マグネシウム等を用いて金属吸着機能を検討した結果、HAP が最も優れた効果を発揮したため、HAP を選定した。

- ・金属吸着量が飽和状態になる時期がずれる可能性について。

回答：海水中の濃度のみならず、底泥中の金属濃度によって飽和時期がずれるものと考えられる。特に、底泥中の濃度の影響の方が強く、初期値に応じた HAP 混入量を決定す

る必要がある。

- 着生量の単位の違いについて

餌量生物は多孔質体の内部にも存在するので、単位体積、海藻は表面のみの着生なので単位面積で評価した。

- HAP の有無による海藻の着生機能を検討した例はあるか。

回答：現在、熊本県、岩手県において HAP 混入の有無による海藻着生機能を検証中であり、ヒジキの生育に明確な差が出ていることを確認している。今後も継続して HAP の有無による海藻生育機能の検討を行う。

公聴会終了後、審査委員による口述試験に移り、研究の背景および関連する専門知識について、審査申請者の理解度を確認した（約 40 分間）。また、審査申請者は本研究の成果および今後の研究展開についても明確な認識を持っていることが確認できた。

以上の結果、当該審査に関わる本学位論文が香川大学大学院工学研究科博士後期課程修了の学位（博士（工学））に値するものであり、かつ当該申請者は、専門領域に関する十分な学識と研究能力を有するものと判断し、本最終試験の評価を合格とする。