

## 5 リサイクル可能な資材を用いたかき養殖筏の開発

友國慶子, 小玉 龍, 横山詔常, 佐々木憲吾, 三保達郎\*, 三保弘太郎\*

Prototype and study of oyster agricultural rafts using recyclable materials

TOMOKUNI Keiko, KODAMA Ryu, YOKOYAMA Noritsune, SASAKI Kengo, MIHO Tatsuo and MIHO Kotaro

We examined a raft for oyster cultivation that does not produce waste and is composed of recyclable materials. A raft for oyster cultivation with an inner diameter of 25 m, in which PE pipes were connected in a circle, was designed and prototyped. A strength analysis was performed and it was confirmed that the strength was sufficient for use in oyster farming operations. An oyster growing test was conducted using a prototype PE pipe raft. It proved to be practical in implementing oyster cultivation using the tray style. In addition, the oysters grown with the PE pipe raft had a larger weight than the conventional bamboo raft. So, it was shown that the PE pipe raft was superior to the bamboo raft at least in winter in the SHIROMIZU Area. It was suggested that this superiority was due to the rocking characteristics of the raft. So, we verified the rocking condition of the raft with the acceleration sensor module. As a result, it was confirmed that the swing was smaller than that of the conventional bamboo raft.

キーワード: 海洋資材, 海ゴミ, 環境配慮型養殖

### 1 緒 言

広島県を代表する特産品であるかきの養殖において、養殖筏や垂下式養殖に用いる資材の流出が大きな問題となっている。現在、広島県内で一般的に使用されているかき養殖用筏は、複数の竹を縦横に配置して針金で結束し、浮体として発泡スチロールを格子状に束ねた竹の下に配置するという構成を取っており、概ね5年間、使用した後は、一部の発泡スチロールを除いてリサイクルされることはなく、産業廃棄物となっている。かき養殖筏は広島県内の養殖漁場に約1万台が設置されている。また、垂下式養殖は、かきが付着したホタテの殻とプラスチック製の筒（以下、スパーサー）を針金に交互に約35セット通して「垂下連」を作製し、これを筏1台に700本弱垂下して養殖を行う方式である。スパーサーはかきの水揚げの際に回収されリユースされているが、一部は育成途中や水揚げ作業時に海中に落下、放出され、水面を浮遊する海ゴミとなり問題となっている。

この課題を解決するため、近年ではスパーサーを生分解性の資材に代替する研究や、スパーサーの水揚げ時の回収率を上げるための研究が行われている他、筏に使用される発泡スチロールを、中空の樹脂製フロートに代替することなどが提唱されている。しかし、これらの実用化には、価格などにおいて多くの問題が残っているのが現状である。

本研究では、耐用年数が長く、リサイクル可能な資材

\*かなわ水産株式会社

で、且つ海での利用実績も豊富なポリエチレン製のパイプ（以下、PE管）を用いたかき養殖筏の開発を行った。また、平成28年に県内企業と共同で開発したかき養殖用トレーを用いて、開発したポリエチレンパイプ製のかき養殖筏でスパーサーと発泡スチロールを使用しないかき養殖を試行して、実用可能性を検討した。

### 2 PE管を用いたかき養殖筏

#### 2.1 PE管製かき養殖筏の設計

かき養殖に適したポリエチレン製かき養殖筏の形状について検討し、図1に示す形状の筏を試作することとした。試作筏は円形で、外径315mmの押出成形による高密度PE管を内径25mになるように2重に設置した。筏上での垂下や水揚げなどの際にはPE管自体が足場となり、PE管の浮力で海上に浮き、養殖物を垂下した状態で維持できる構造とした。



図1 PE管製かき養殖筏の設計案

円形にした理由は、海上で波浪や潮流による揺動を想定したとき、変形による応力集中の影響が最も小さくなると想定されたためである。円形で海上に浮設して使用することは、マグロなどの大型魚の海面養殖で鋼管を用いた円形生簀や、最近では PE 管を用いたものが実用化されているため、耐久性について実績のある円形の筏のかき養殖利用について検討することとした。

## 2.2 強度解析

試作する筏が養殖操作に耐えられる仕様となっているかを確認するため、強度解析ソフト (Solid Works2018) を用いて応力解析を行った (図2)。

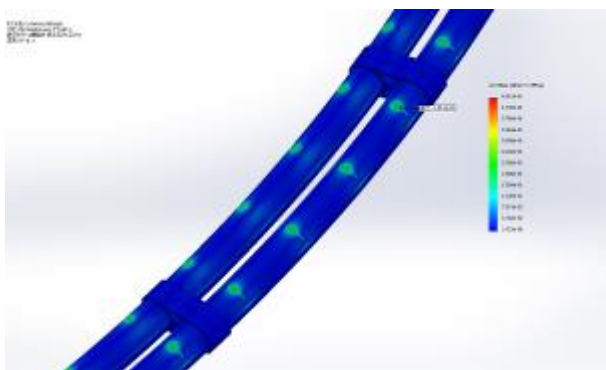


図2 円形 PE 管製かき養殖筏の応力解析結果

解析は、実際に垂下する予定の垂下連の水中重量を、筏にロープ等の紐体を用いて 1m 間隔で直接結びつけたときを想定して行った。図2において、色の薄い点状の部分が垂下場所である。垂下場所の応力はやや高くなるが、設計した筏は垂下連の重量を支えるのに十分な強度を持つことが確認された。

## 2.3 PE 管製かき養殖筏の試作

設計を基に、実際に PE 管製のかき養殖筏を試作した。筏の試作には、PE 管同士をバット融着によりつなげる必要があるため、この作業を実施することのできる日東製網株式会社 (広島県福山市) に施工作业を委託した。

試作した筏の写真を図3に示す。施工は広島県江田島市の深江漁港構内で行い、組立の後、クレーンを用いて漁港内の水面に下ろした。この後、施工した円形筏はかなわ水産 (株) の漁船で曳航し、白水漁場 (区画漁業権第 194 号) に移動、設置した。漁場への係留は、通常の竹製筏同様、幹線と呼ばれる漁場に設置されたアンカー付きのワイヤーに、ロープやワイヤーを用いて筏を結束することで実施した。この方法で、漁

場設置直後に遭遇した台風 (平成 30 年台風 24 号) や、その後の冬季の波浪にも耐え、流出等の事故は起こっていない。



図3 試作した円形 PE 管製かき養殖筏

## 3 試作筏を用いた養殖試験と筏の揺動

### 3.1 垂下試験

試作した PE 管製かき養殖筏を用いて、2 カ月の養殖試験を行った。前述した通り、試作筏には通常の垂下連ではなく、平成 28 年度に開発したかき養殖用トレーを用い、1 段あたり 100 個のかきを収容したものを 14 段積層して垂下連とした (PE 管製筏区)。比較区として通常竹製筏にも同様の養殖用トレーによる垂下連を設置し (竹製筏区)、平成 30 年 11 月 22 日から平成 31 年 1 月 24 日までの 65 日間の育成を行った。各区の下から 7 段目の種苗について、2 ヶ月間でどのように生育するか、試験後の殻高、総重量、むき身重量を比較した。

育成後のかきのデータを表1に示す。

表1 育成試験結果

	実験開始時 平均±SD	PE筏通常トレー 平均±SD	通常筏通常トレー 平均±SD
斃死(個)	—	5	3
殻高(mm)	75.0±7.02	94.6±11.7	90.2±10.7
殻長(mm)	47.9±4.80	45.6±6.4	43.6±5.7
殻幅(mm)	27.13±3.77	26.2±3.9	25.4±3.9
全重量(g)	46.26±7.05	55.6±13.0	48.6±11.6
むき身重(g)	5.63±1.68	12.1±4.1	9.6±3.1

測定した殻のサイズ、総重量及びむき身重量のすべてにおいて、試作した PE 管製筏で育成した区が竹製筏区よりも大きく育っていた。特に、育成期間が 11 月から翌年 1 月であり、サイズの成長よりも身入り (可食部の肥大) が起こる時期であることから、両区のむき身重量についての比較を図4に示す。

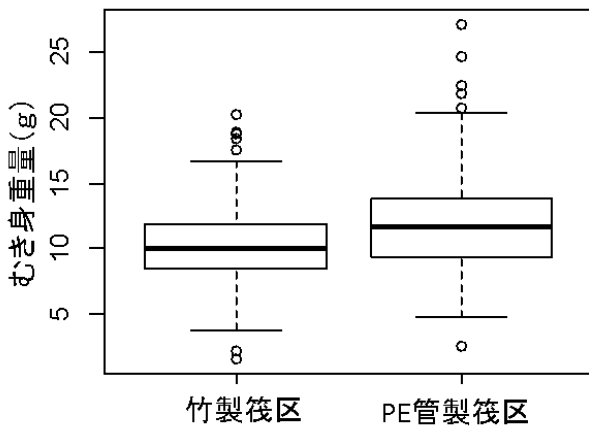


図4 むき身重量比較 (育成結果)

2 区の育成後のむき身重量には有意な差が見られた (Mann-Whitney  $U$  test,  $U = 6.4720e+03$ ,  $P < 0.001$ )。つまり、同一の種苗を用いて育成試験を行った結果、少なくとも白水漁場において、11 月から翌年 1 月までの育成によって、竹製筏よりも PE 管製筏を用いた育成区において、有意に身入りが良いという結果が得られた。育成密度等の環境要因については、2 区間で大きな相違はなかったことから、この生育の違いは、養殖筏の揺動特性の相違に起因するのではないかと考えられた。

### 3.2 揺動特性の把握

筏の揺動特性の相違を確認するため、加速度センサを試作筏 (PE 管製筏) と従来筏 (竹製筏) に設置し、それぞれの筏とそこに垂下した養殖トレー内の揺動について調査した。

作製した加速度センサモジュールの写真を図5に示す。加速度は 20 回/秒の頻度で採取し、SD カードに保存することとし、単 4 電池 2 本で約 12 時間の駆動時間を確保した。

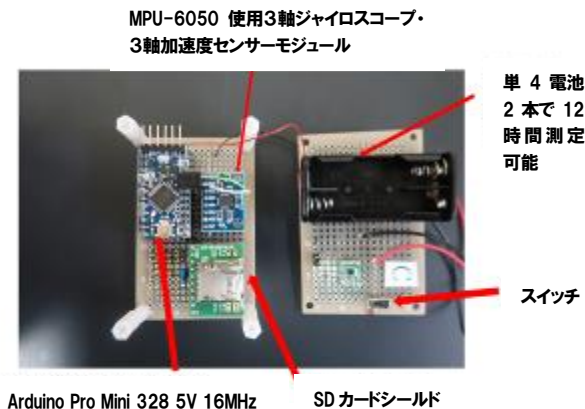


図5 加速度センサモジュール

測定は令和 2 年 1 月 14 日に実施した。午前 11 時 00 分に加速度センサの電源をオンにし、防水パッケージに封入した。これを漁場まで運び、筏上及び筏から垂下するかき養殖トレー (養殖対象のかきは通常の量収容) の蓋の下の段 (上から 1 段目) に設置し、約 24 時間後に回収した。加速度センサシステムの設置箇所は図6のとおりである。

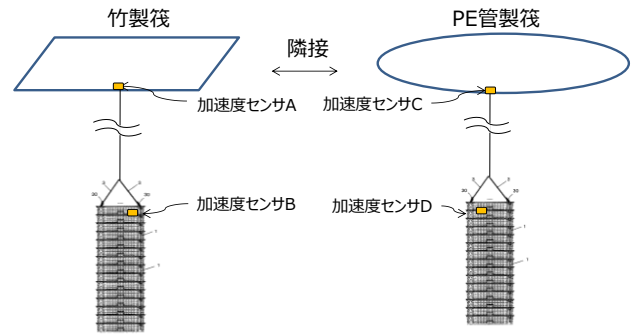


図6 加速度センサモジュールの設置箇所

PE 管製筏の筏上設置区 (加速度センサ C) は、スタンション上部にある手すり設置用の筒状突起内に設置した。竹製筏の筏上設置区 (加速度センサ A) は、筏下に浮力確保のために設置する発泡スチロール製フロート上に設置した。回収した加速度センサからデータを取り出し、3 軸の加速度データを合成して、合成加速度データを得た。基線のずれを無くすために、各区データを 120 から 150 分のデータの平均値にてオフセットした。

加速度センサが純粋な筏の揺れをセンシング開始したと思われる時間帯をデータ取得開始 90 分後から (12:30 から) とし、最もデータ記録が短かった PE 筏海上区に合わせてセンシング開始 240 分後 (15:00) までの 150 分のデータ (180,000 データ) を解析対象とした。結果を図7に示す。このうち、解析対象とした区間は赤線で挟まれた区間である。グラフから従来筏 (竹製筏) の海上データの振幅が、他の区より大きく、次に従来筏 (竹製筏) の海中トレー内が大きいことが分かる。

解析区間で 1 分毎に最大値、最小値を求め、その差を振幅とし、解析区間の平均値を求めた結果を図8に示す。

竹製筏の揺れは強く、PE 管製筏の揺れは小さい結果となった。海上の筏自体の振幅の差ほどではなかったものの、海中 (トレー内) の振幅は、PE 管製筏では竹製筏に垂下したトレー内よりも小さく、半分以下

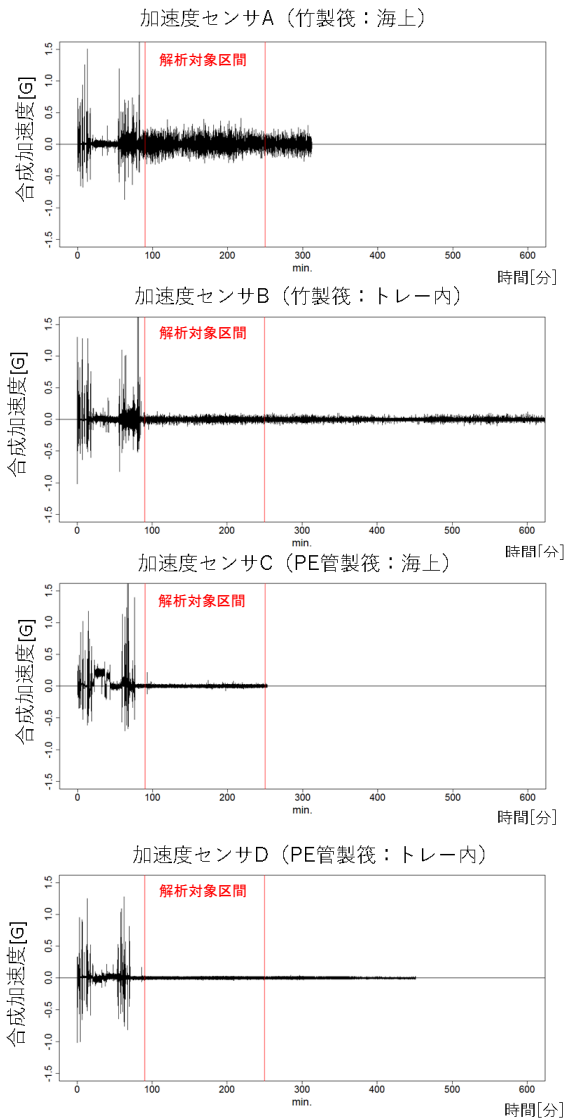


図7 筏の揺動特性の相違

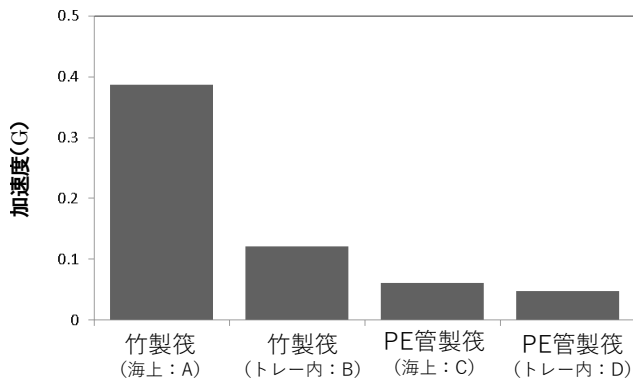


図8 各区の振幅の平均値

の揺れ強度であった。このことから、PE 筏は従来の筏より波の影響を緩和する効果があると考えられる。この揺動特性の違いが、かきの育成結果に影響を与えた直接的な要因である証拠はないが、他の環境要因の相違がほとんどないと考えられるため、揺動特性が育成結果に大きく影響している可能性は高い。また、PE 管製筏の形状を今後も検討していく上で、揺動特性の検証方法として今回の手法が有効であることも確認できた。

#### 4 結 言

廃棄物を出さずリサイクル可能なかき養殖用筏について検討を行った。試作した PE 管製筏は、トレー式養殖を実施する上で実用的であり、従来の竹製筏に比べて、少なくとも白水漁場における冬季の育成結果は優位であった。この優位性は揺動特性の違いによるものと推測され、実際に加速度センサを用いて揺動状況を検証したところ、従来の竹製筏より揺れが小さいことが確認された。

本研究は、NPO 法人広島循環型社会推進機構の平成 30 年度及び令和元年度開発研究として実施された研究のうち、広島県立総合技術研究所西部工業技術センターにおいて受託した開発研究において実施されたものである。