

## 焼酎粕を有効活用したコンクリート魚礁の開発

江幡恵吾<sup>1</sup>・宇野誠一<sup>1</sup>・吉川 毅<sup>1</sup>・丸儀雅孝<sup>1</sup>・東 輝<sup>1</sup>・谷 和博<sup>1</sup>・塩満暁洋<sup>2</sup>・税所誠一<sup>2</sup>・  
池田利光<sup>2</sup>・若松憲二郎<sup>3</sup>・達山智成<sup>3</sup>・川井田博<sup>4</sup>

### 1. 開発の経緯

近年の焼酎ブームによって焼酎生産量が増加し、それに伴って焼酎粕の発生量も年々増えている。焼酎粕の約8割が陸上施設での処理または海洋投入処分されており、農地への還元や飼料などの有効活用は2割程度に留まっている。焼酎粕のほとんどが処理され、有効活用されているのが少ない理由として、焼酎粕に含まれる水分と固形分の分離が難しいこと、強酸性であること、発生する時期が年間を通じて一定ではなく偏りがあることなどがあげられる。焼酎粕は決して有害なものではなく、例えば甘藷焼酎蒸留粕では、その成分の約95%が水分で、この他にタンパク質、アミノ酸、ビタミンEなどの有機成分が含まれている。<sup>1)</sup>

平成19年度からは焼酎粕の海洋投入処分が規制されることになっており、処理法や新たな有効活用法の開発が急務となっている。そこで本研究では、焼酎粕の新たな有効活用法を開発するために、焼酎粕のほとんどが水分である特性を活かして、コンクリートやモルタルの材料として水の代わりに用いて、魚礁などに応用することを考案した。従来の普通モルタルは、水、セメント、砂を、普通コンクリートは、水、セメント、砂、碎石などを原料として製作されるが、このうちの水を焼酎粕で置き換えたものが“焼酎粕モルタル”あるいは“焼酎粕コンクリート”である。これまでの焼酎粕の利用法では、水分をある程度取り除くために加熱や発酵処理などの1次処理を必要とする場合が多いが、焼酎粕モルタルや焼酎粕コンクリートではそのような1次処理を必要としないで、焼酎粕をそのままの状態でも100%利用することができる。コンクリートの製造過程において水を混入する工程を焼酎粕に置き換えるだけなので、既存の施設で十分に対応が可能であり、焼酎粕モルタルや焼酎粕コンクリートを製作するために特別な施設を必要としない。

このように非常に簡単に焼酎粕を利用できる方法であるが、平成19年度から焼酎粕の海洋投入処分が規制される中で、単に焼酎粕をセメントで固めて海中に設置する

だけでは、形を変えた海洋投入になってしまう恐れがある。この方法が焼酎粕を処理するためではなく有効活用の観点から、従来のコンクリート魚礁に焼酎粕を混入させることで、これまでになかった有効性を持たせて、付加価値を付けるための手段として考えている。普通コンクリートは無機質のものであるが、有機物である焼酎粕を加えることで、コンクリート表面に付着するバクテリアの成分や細菌数が変化して、そのバクテリアの働きによって、水質の浄化作用などが生まれ、海洋生物に対して好条件を生み出すことができないかと考えている。このような仮説に基づいて、水槽実験および現場海域での実験の両面から焼酎粕を混入させたことによる効果について調査を行っている。

### 2. 海洋性付着細菌特性および水質浄化作用特性

#### 1) 海洋性付着細菌特性

平成17年度には財団法人鹿児島科学研究所研究助成金から、平成17年度と18年度には鹿児島県産業廃棄物排出抑制・リサイクル等推進事業から研究費の補助を受けて、焼酎粕モルタルの表面に付着する海洋性細菌特性や水質浄化作用を調べる実験を開始している。

焼酎粕モルタルの表面に付着する海洋性細菌の特性を調べる実験<sup>2)</sup>では、図1に示すように普通モルタルと焼酎粕モルタルを海水中に浸漬させた。実験期間中は水槽全体を完全に遮光するように覆い隠し、暗条件下の室温で静置させた。海水は鹿児島市与次郎ヶ浜沖で採水したものを使用し、水槽内の海水は交換しないものとした。浸漬後0日目、3日目、9日目、39日目、65日目に供試体を水槽から取り出して、表面に付着した細菌を回収して寒天平板培地に接種し、3~7日間培養をした後、得られたコロニーから生菌数を計数するとともに、無作為に抽出した50コロニーについて細胞形態・運動性・色素産生能の観察、グラム染色、カタラーゼテスト、オキシダーゼテスト、OFテストを行い、細菌種の簡易同定を行った。同時に、海水中の生菌数についても測定を行った。

<sup>1</sup> 鹿児島大学水産学部 (〒890-0056 鹿児島市下荒田4丁目50-20)

<sup>2</sup> 鹿児島共和コンクリート工業株式会社 (〒892-0821 鹿児島市名山町1番3号)

<sup>3</sup> 八光工業株式会社 (〒891-0202 鹿児島市喜入中名町1000番地20)

<sup>4</sup> 鹿児島県始良農業改良普及センター (〒899-4305 霧島市国分郡田818)

実験に用いた供試体の配合は、普通モルタルの重量比が水：セメント：砂＝1：2：4、焼酎粕モルタルの重量比が焼酎粕：セメント：砂＝1：2：4となるようにした。砂はJIS R 520-1997付属書2の5.1.3 ISO標準砂に規定された砂を、焼酎粕には甘藷焼酎蒸留粕（西酒造株式会社提供）を使用した。製作は鹿児島大学工学部の実験室で行った。供試体を製作した翌日に型枠（サイズ：40 mm × 40 mm × 160 mm）から取り外し、その後30日間は室温20℃の室内で養生させた。供試体を水槽内に設置する直前に、供試体を半分に切断して、サイズを40 mm × 40 mm × 80 mmとした。

以上のような方法で、海水中に浸漬させた普通モルタル、焼酎粕モルタルの表面に付着した細菌数、細菌の種類を比較した。



図1 海水中に設置した焼酎粕モルタル

付着生菌数の結果を図2に示す。普通モルタルでは、海水中の細菌数とほぼ同様な挙動を示し、実験開始後9日目で $2.5 \times 10^5$  cells/cm<sup>2</sup>となり、最も高い計数值を示した。焼酎粕モルタルでは、海水中の生菌数が減少した後も細菌数をしばらく維持する傾向がみられ、9日目で $1.7 \times 10^5$  cells/cm<sup>2</sup>、39日目で $2.3 \times 10^5$  cells/cm<sup>2</sup>であった。付着細菌組成の測定結果、焼酎粕モルタルで特徴的に見られた傾向として、普通モルタルではほとんど検出されることがない*Bacillus*属が認められ、*Flavobacterium*属などの色素産生細菌が多いことが明らかとなった。従来のモルタルに有機物である焼酎粕を混入させることによって、表面に付着する細菌の特性が変化することが示された。

今後は、さらに詳細な付着細菌の種組成を明らかにするために、細菌種を同定できる遺伝子工学的手法を用いて検討することで準備を進めており、この方法によれば、焼酎粕が付着細菌の種組成に与える影響を評価できる可能性があると考えている。

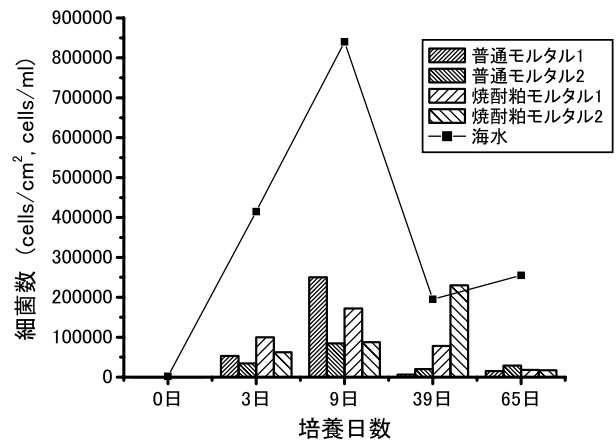


図2 表面に付着した生菌数の変化

## 2) 水質浄化作用特性

焼酎粕モルタルの表面に付着する細菌の作用による水質浄化作用および生物に与える影響を調べるために、実験水槽内で海産性魚類であるジャワメダカと海産性甲殻類であるヨコエビを飼育し、魚類および甲殻類の排泄物由来の化学物質であるアンモニウム態窒素、亜硝酸態窒素、硝酸態窒素を測定する実験を行っている。実験は図3に示すような水槽で行っており、測定の結果については現在解析を進めているところである。



図3 焼酎粕モルタルの水質浄化試験

## 3. 焼酎粕コンクリートの強度特性

焼酎粕コンクリートを魚礁として用いるためには、ある程度の強度（魚礁等の基準では圧縮強度で18 N/mm<sup>2</sup>以上）が必要とされる。焼酎粕コンクリートの強度特性を明らかにするために、「コンクリートの圧縮試験方法（JIS A 1108 - 1999）」に基づく試験方法<sup>3),4)</sup>で実験を行った。実験は鹿児島共和コンクリート工業株式会社の蒲生工場で実施した。供試体（直径100mm、高さ200mmの円柱）は、普通コンクリートの水分量のうち25, 50, 75,

100%を焼酎粕で置き換えたものとした。供試体の材料として、セメントには普通ポルトランドセメント(密度:  $3.16 \text{ g/cm}^3$ )、細骨材には鹿児島県山川産の海砂(密度:  $2.52 \text{ g/cm}^3$ )、鹿児島県串木野産の砕砂(密度:  $2.58 \text{ g/cm}^3$ )、粗骨材には鹿児島県川内産の碎石(密度:  $2.87 \text{ g/cm}^3$ )、練混ぜ水には水道水および甘藷焼酎蒸留粕(西酒造株式会社提供)、混和剤にはポリカルボン酸系の高性能減水剤(ポゾリス物産: レオビルド8000S)を用いた。

供試体の製作には可傾式ミキサを用いた。始めにセメント、細骨材、粗骨材をミキサに投入して、次に水、焼酎粕、混和剤を加えて練混ぜた後、型枠にコンクリートを打ち込んだ。製作3日後に型枠から取り外し、その後、水温  $20 \pm 2^\circ\text{C}$  の水槽中で、試験を行う材齢28日まで養生した。圧縮試験は、図4に示す圧縮試験装置で供試体に急激な衝撃を与えないように、一様な速度で荷重を加え、供試体が破壊するまでの最大荷重を読み取り、圧縮強度を求めた。圧縮強度の結果を図5に示す。圧縮強度は、焼酎粕の割合が0~50%ではほとんど変化しないが、焼酎粕の割合が75%になると急激に低下し、普通コンクリートと比べて約10%の強度しか有しないことが明らかになった。



図4 圧縮試験

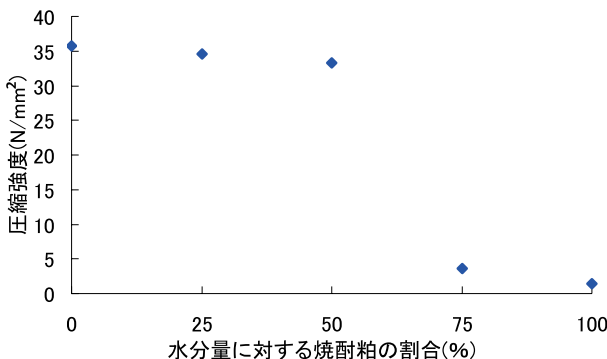


図5 焼酎粕コンクリートの強度特性

次に、焼酎粕を配合することで低下した強度を改善するための実験を行った。前述の焼酎粕を100%とした供試体に、リグニン系の有機物固化液(八光工業: YHR)を焼酎粕の量に対して5~25%を添加させることで強度の改善を試みた。供試体を製作した後、14日間空气中で養生し、試験を行う直前に型枠から取り外した。供試体の製作、強度試験の方法は、前述の強度試験と同様な方法で行った。強度試験の結果、有機物固化液の割合が5%の配合で  $24.6 \text{ N/mm}^2$  の圧縮強度が得られ、魚礁の設計基準を満たすことができた。

このように、有機物固化液を用いることで、焼酎粕によって低下した強度を改善することができた。有機物固化液を用いることは、焼酎粕によって低下したコンクリートの強度を改善するだけでなく、焼酎粕の有機成分によって生じるコンクリート製品の強度のばらつきをなくし、安定した強度を保持する製品を製作することも対しても有効であると考えられる。

#### 4. 現場海域での実証試験

上記で述べたように焼酎粕モルタルの海洋性付着細菌特性や水質浄化作用特性を明らかにするために、実験室レベルで詳細な解析を進めるのと同時に、図6に示すように鹿児島県内の6ヶ所で、現場海域における試験も開始している。なお、鹿児島市鴨池沖で実施している焼酎粕魚礁の試験は、平成18年度科学技術振興機構(JST)地域イノベーション創出総合支援事業重点地域研究開発推進プログラム「シーズ発掘試験」に採択された。

焼酎粕コンクリートを水中に設置したときに溶出する物質の試験については、海洋汚染防止法に定められた方法で実施し、すべての項目で基準値以下となり有害物質が検出されなかったことを確認している。何れの実証試験も開始してから期間が短く、現在も継続中であるため明確な結果は得られてはいないが、ここでは種子島でのトコブシ魚礁および鹿児島湾でのマダコ産卵タコつぼについて紹介する。

##### 1) 種子島トコブシ魚礁

現場海域における試験の中で、最も早く着手したのは、種子島におけるトコブシ魚礁である。<sup>5)</sup> 通称“ながらめ”と呼ばれ、種子島の重要な漁業対象種のひとつであるフクトコブシ *Haliotis diversicolor diversicolor* は、近年、その漁獲量が減少しており、1980年で約80トンであったが、2002年では6.5トンまでに低下している。<sup>6)7)</sup> そこで、トコブシ資源を回復させることを目的として、小型の魚礁を開発して試験を行っている。この事業は、鹿児島大学水産学部、鹿児島共和コンクリート工業、西之表市、



焼酎粕産卵用タコつぼ (写真：読売新聞提供)  
(鹿児島市鴨池沖：2005年9月から実施)



焼酎粕藻場礁  
(いきち串木野市沖：2006年5月から実施)



焼酎粕産卵用タコつぼ  
(始良町重富沖：2006年10月から実施)



焼酎粕藻場礁  
(鹿児島市喜入沖：2006年1月から実施)



焼酎粕トコブシ魚礁  
(西之表市庄司浦地区：2005年3月から実施)



焼酎粕魚礁  
(鹿児島市鴨池沖：2007年1月設置)

図6 焼酎粕コンクリートの実証試験

種子島漁業協同組合などが共同して、地域連携事業の一環として進めている。

実験に使用しているトコブシ用魚礁は、図7に示すようにサイズが縦 424.4 mm, 横 490 mm, 高さ 250 mm で、質量が約 60 kg, 体積が 0.0262 m<sup>3</sup> の小型のブロックである。魚礁の表面には起伏があり、海底に設置したときに魚礁と海底との間に隙間ができる。その空間がトコブシの生息場となり、魚礁の表面にはトコブシの餌料となる海藻類を着生させることを考えている。また、天然の岩場に生息するトコブシを魚礁の底面部分に生息させることで、漁業者が岩場の中に生息するトコブシを探索する時間をなくし、作業効率を向上させることも考えている。



図7 トコブシ魚礁

実験は、2005年3月から西之表市庄司浦地区のトコブシ養殖場内で実施している。この養殖場は図8に示すように、天然の岩場を人工的に削って溝式に造成したもので、水深は干潮時で約0.5 m, 満潮時で約3 mで、海底は平坦な形状をしている。実験には、普通コンクリート、石炭灰配合、焼酎粕配合の魚礁をそれぞれ100基ずつ用いている。トコブシ魚礁の基質を、従来の普通コンクリート、多孔質体の石炭灰を配合したもの、有機成分である焼酎粕を配合したものの3種類を用いて、基質の違いがトコブシの付着、生育状況、およびその他の生物の蛸集や付着状況、海藻類の着生などに与える影響を調べている。2005年3月28日に魚礁を設置し、2005年6月20日にトコブシ稚貝（殻長約2 cm）を魚礁1基あたり10個ずつになるように合計3,000個放流した。その後、概ね3ヶ月に1度の頻度で定期的に調査を行っている。稚貝を放流してから、約11ヶ月が経過した2006年5月15日の調査では、普通コンクリート、石炭灰コンクリート、焼酎粕コンクリートの魚礁に生息していたトコブシの個体数は、それぞれ185個、255個、368個であった。トコブシの歩留率（放流個体数に対する生息個体数の割合）



図8 トコブシ溝式養殖場

は焼酎粕コンクリートで36.8%となり、他の2種類の魚礁と比較して有意な差が見られた。（クラスカル・ウォリス検定,  $P < 0.05$ ）本調査は、3ヶ年計画（平成17年度～19年度）を進めており、現在も調査を継続中で、焼酎粕による効果を検証している段階である。

## 2) 鹿児島湾におけるマダコ産卵タコつぼ

現在、鹿児島湾で使用されているマダコの産卵用タコつぼは、プラスチック製のものであり、毎年、産卵期を迎えるお盆過ぎに約5,000個のタコつぼが設置されている。タコつぼによってマダコの産卵の機会を増やすことは、資源を増やすためにも重要なことである。しかしながら、これらのタコつぼは、産卵期が終了した後も回収されないことないため、自然に分解しないプラスチックが海底の環境に与える影響が懸念される。

そこで、現在のプラスチック製タコつぼよりも環境にやさしく、かつ、従来のタコつぼにない水質浄化作用などの機能を持つタコつぼを開発することを目的として、焼酎粕モルタル製タコつぼの試験を開始している。

プラスチック製、普通モルタル製、焼酎粕モルタル製のタコつぼをそれぞれ10個ずつ交互に延縄式に連結させ、これを2連製作して、2005年9月17日に鹿児島市鴨池沖の水深10m～20mの海域に設置した。2005年10月31日に行った潜水調査では、プラスチック製1個、普通モルタル製2個、焼酎粕モルタル製2個の合計5個のタコつぼに、マダコが生息しているのが確認され、何れのマダコもタコつぼ内部の天井部分に産卵をしていた。プラスチック、普通モルタル、焼酎粕モルタルの材質の違いが、マダコの入りつぼや産卵に与える影響については、まだ明らかにはできていないが、焼酎粕を混入させたモルタル製のタコつぼでも、マダコの産卵が確認されたことから、産卵用タコつぼとして最低限の機能を保持

していると考えられる。現在も概ね1～2ヶ月ごとに継続して追跡調査を行い、タコつぼの状況の観察を続けており、今後、さらに詳細に材質の違いによる影響を明らかにしていく予定である。

## 5. おわりに

2004年に焼酎粕をセメントで固める技術を考案して以来、魚礁に応用する研究開発を進めているが、前述したように実用化に向けて、まだまだ多くの課題が残されている。そのような状況ではあるが、種子島の漁業者からの要望によって、平成18年度離島漁業再生支援交付金事業において、本学が実施する試験研究の一環という条件付きではあるものの、焼酎粕トコブシ魚礁が西之表市と中種子牧川地区の2ヶ所で事業化されることになった。今後は、この2ヶ所についても調査を実施して、焼酎粕による効果を検証する予定である。

焼酎粕は非常に厄介な性質を持っており、海洋投入処分の規制を目前とした現在、焼酎粕の処理問題は、鹿児島県にとって大きな問題である。しかしながら、このような状況を逆手にとって、焼酎粕を活かす研究開発ができるのは、焼酎の製造が盛んな鹿児島県だからこそである。焼酎粕利用法の開発環境にある鹿児島県から全国に向けて新技術を発信できるように、今後も研究を進めていきたい。

## 謝 辞

本研究を具体的に着手できたのは、平成17年度鹿児島大学離島域水圏資源環境開発管理研究事業の一環として進めるようになってからである。研究環境を整えていただき、多大なご支援をいただいた鹿児島大学水産学部松岡達郎学部長、井上喜洋教授、大富潤助教授、安樂和彦助教授、西之表市役所後庵則男氏、古市善哉氏に心から感謝申し上げます。研究を開始した当初から、甚大なご支援、ご協力をいただいた西酒造株式会社西陽一郎代表取締役社長、沖園清忠研究開発部長、水質浄化試験、付着細菌特性試験を進めるにあたり貴重なご指導をいただいた鹿児島大学水産学部小山次朗教授、坂田泰造教授、トコブシ魚礁の調査を行うにあたり貴重なご支援をいただいた野呂忠秀教授、山本智子助手、海洋プランニング株式会社井手陽一支店長、付着生物に関して有益なご助言をいただいた鈴木廣志教授、寺田竜太助教授、Miguel Federico Vazquez Archdale 講師、博士課程島袋寛盛氏に心よりお礼申し上げます。強度試験でご協力をいただいた鹿児島大学工学部前村政博技術職員、ポゾリス物産

株式会社鹿児島営業所服部信行氏、現場調査でご支援をいただいた鹿児島市漁業協同組合、種子島漁業協同組合、錦海漁業協同組合のみなさま、海工房古田和彦氏に感謝の意を表します。タコつぼの製作において、多大なご協力をいただいたタナカ漁網株式会社(大分市)、タコつぼ職人伊藤春人氏(大分県在住)、池田工業所(霧島市牧園町)に感謝いたします。魚礁の設置に関してご尽力をいただいた鹿児島県林務水産部漁港漁場課堀江昌弘氏、環境生活部野口紳一氏、鯨島正平氏、山口裕二氏、鹿児島市畜水産課山元良一氏、前原一幸氏、鹿児島海上保安部警備係西文久氏、特許出願に関してご便宜をいただいた鹿児島大学知的財産部門小池保夫教授、金崎雄三郎客員教授、黒木哲朗課長代理、鹿児島県知的所有権センター橋口暎一氏、堀内明人氏、焼酎粕をご提供していただいた高崎酒造株式会社、田苑酒造株式会社、大口酒造協業組合にお礼申し上げます。焼酎粕魚礁の研究と一緒にあって取り組んでくれた学生諸君に感謝いたします。

## 文 献

- 1) 松久保好太郎, 長谷場彰, 伊藤博雅, 田畑一郎, 前田フキ, 西和枝(1987). いも焼酎蒸留粕のし別分離区分の成分. 鹿児島県工業試験場年報, 33: 41-43.
- 2) 江幡恵吾, 吉川毅, 坂田泰造, 岡野翔, 佐藤周平, 吉永圭作, 丸儀雅孝, 谷和博, 宇野誠一, 小山次朗(2006). 甘藷焼酎蒸留粕を利用したモルタル表面に付着する海洋性細菌特性に関する研究. 鹿児島科学研究所研究報告, 16, 41-45.
- 3) 土木学会(2005).「土木材料実験指導書(2005年改訂版)」(辻幸和編)社団法人土木学会, 東京. 18-23, 78-80, 87-92.
- 4) 東君康(2003).「標準 土質・コンクリート試験ハンドブック」(建設技術教育研究所), オーム社, 東京. 142-143.
- 5) 江幡恵吾, 丸儀雅孝, 東輝, 塩満暁洋, 税所誠一, 後庵則男, 砂坂育男(2006). 種子島におけるトコブシ用小型魚礁の開発. 平成18年度日本水産工学会学術講演会講演論文集, 55-56.
- 6) 野呂忠秀, Lota B Alcantara, 増田育司(2004). 鹿児島大学水産学部附属海洋資源環境教育研究センター共同研究プロジェクト, トコブシの資源管理に関する研究. 鹿児島大学水産学部紀要, 53, 37-40.
- 7) 野呂忠秀(編)(2005). 種子島漁業協同組合委託平成16年度トコブシ放流実践調査に係る漁場評価調査報告書, 鹿児島大学水産学部附属海洋資源環境教育研究センター.